



João Miguel dos Santos Campos

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

Estudo da variação das folgas em montagens soldadas – um caso de estudo na indústria automóvel

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Doutor António José Freire Mourão,
Professor Associado, FCT-UNL

Co-orientador: David Henriques, Mestre em Engenharia Mecânica

Júri:

Presidente: Doutor António Gabriel Marques Duarte dos Santos,
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Vogais: Doutor Rui Fernando dos Santos Pereira Martins,
Professor Auxiliar da faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
Doutor António José Freire Mourão, Professor
Associado da Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho 2019

Estudo da variação das folgas em montagens soldadas – um caso de estudo na indústria automóvel

Copyright © João Miguel dos Santos Campos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer ao Prof. Doutor António Mourão pela orientação no decorrer da dissertação, disponibilidade e simpatia, para além de terem sido os seus conhecimentos e boas relações na indústria que possibilitaram o surgimento deste tema para desenvolver.

Quero agradecer também à empresa e à equipa que me recebeu, principalmente ao Eng.º David Henriques não só pela orientação, apoio e informação fornecida, mas também pela ótima receção, simpatia e camaradagem.

Aproveito também para agradecer à FCT-UNL, nomeadamente à equipa docente, que nestes últimos 5 anos contribuíram para a minha aprendizagem e me tornaram um engenheiro.

Não posso também deixar de agradecer à minha família, principalmente aos meus pais e irmão pelo apoio não só durante estes 5 anos, mas durante toda a vida, que tornou possível a concretização deste sonho.

Por último mas não menos importante quero agradecer à minha namorada pelo amor e apoio durante boa parte do curso e principalmente durante a dissertação onde foi imprescindível para manter a motivação e não desanimar quando percalços apareciam.

Muito obrigado a todos.

RESUMO

A presente dissertação surgiu da vontade da empresa na qual foi desenvolvida de estudar a dificuldade do cumprimento das especificações exigidas pelo cliente nas montagens soldadas efetuadas.

Em primeiro lugar foram estudados os desenhos técnicos dos diversos componentes e da montagem e obtidas as cadeias de cotas com as tolerâncias correspondentes. Para isso foi necessário fazer uma transformação de tolerâncias geométricas em tolerâncias dimensionais equivalentes por forma a poder incorporá-las nas cadeias.

Em segundo lugar foi desenvolvido um algoritmo para levar a cabo uma simulação Monte-Carlo de maneira a obter a variação da folga entre componentes, folga essa necessária para efetuar uma soldadura de qualidade. Deste trabalho surgiram probabilidades esperadas de interferência entre componentes ou de folgas demasiado grandes que induzem desvios na peça final. Foram construídos histogramas de variação das diversas folgas e determinada a percentagem de influência que cada cota tem na variação da folga e comparada com a influência média. Uma cota com uma influência acima da média é uma cota sobre a qual alterações têm um maior impacto. A título de exemplo, 19 em 46 cotas de um dos módulos tem uma influência superior à média.

Deste trabalho concluiu-se que existe uma discrepância entre as tolerâncias dos componentes e as tolerâncias dos conjuntos, o que foi ao encontro das dificuldades sentidas na produção.

Por último foram feitas propostas de melhoria do projeto de forma a reduzir fontes de variação, reduzindo assim a dificuldade do cumprimento das especificações.

Palavras-chave: Análise de Tolerâncias, GD&T, Folga para Soldadura, Simulação Monte-Carlo, Indústria Automóvel, Cadeia de Cotas

ABSTRACT

The present thesis has come from the will of the company at which it was developed to study the difficulty of fulfilling the specifications demanded by the client in welded assemblies.

Firstly, the parts and assembly drawings were studied and the tolerance stack-ups obtained. For that, it was necessary to perform a transformation of geometric tolerances in equivalent dimensional tolerances to incorporate them in the stack-ups.

Secondly, an algorithm was developed to perform a Monte-Carlo simulation to get the gap variation between components (necessary to a quality weld). This work resulted in expected probabilities of interference or the gap being too large (that induce deviations in the final part). Histograms of different gaps variation were obtained and also the percentage of influence of each dimension in the gap variation. A dimension with a percentage of influence above average is a dimension about which changes have greater impact. As a example, 19 in 46 of one of the modules have influence above average.

From this work it was concluded that a discrepancy between components and assembly tolerances exists. Such discrepancy is felt in production.

Lastly, design improvement proposals were made that can reduce sources of variation, reducing the difficulty of fulfilling the specifications.

Keywords: Tolerance Analysis, GD&T, Welding Gap, Monte-Carlo Simulation, Automotive Industry, Tolerance Stack-Up

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO E OBJETIVO	1
1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. CASO DE ESTUDO	5
2.1. O PRODUTO EM ESTUDO	5
2.1.1. <i>Desenhos técnicos</i>	6
2.2. O PROCESSO	8
2.3. O PROBLEMA	9
3. ANÁLISE E SÍNTESE DE TOLERÂNCIAS	13
3.1. GENERALIDADES	13
3.2. CADEIAS DE COTAS PARA ANÁLISE DA VARIAÇÃO DAS FOLGAS	20
3.2.1. <i>Análise de resultados preliminar</i>	21
4. SIMULAÇÃO DE MONTAGENS	23
4.1. CONCEITOS UTILIZADOS	23
4.1.1. <i>Simulação Monte-Carlo</i>	23
4.1.2. <i>Índices de aptidão do processo – Cp e Cpk</i>	23
4.1.3. <i>Método da rejeição vs método da inversão</i>	26
4.1.4. <i>A função de distribuição de probabilidades</i>	27
4.2. O PROGRAMA PARA SIMULAÇÃO DE MONTAGENS	30
4.3. FASE 1 – ESTIMAÇÃO DO VALOR DAS FOLGAS	33
4.4. FASE 2 – ANÁLISE DAS FOLGAS E DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE CADA COTA	34
4.5. ANÁLISE DE RESULTADOS	36
5. PROPOSTAS DE MELHORIA DE PROJETO	43
5.1. INTRODUÇÃO	43
5.2. POSSÍVEIS SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE PROJETO	43
6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	49
7. BIBLIOGRAFIA	51
8. APÊNDICE 1	53
9. APÊNDICE 2	87
10. APÊNDICE 3	91
11. APÊNDICE 4	95
11.1. PROGRAMA PRINCIPAL (“PROB_INTERF_INVERSAO.M”)	95
11.2. LEITURA DE LIMITES DE DIMENSÃO (“LER_EXCEL_DIM.M”)	100
11.3. LEITURA DAS DIMENSÕES DAS FOLGAS (“LER_EXCEL_FOLGAS.M”)	102

11.4. LEITURA DO NÚMERO DE FOLGAS ("LER_EXCEL_NFOLGAS.M")	104
11.5. LEITURA DIMENSÕES NOMINAIS ("LER_EXCEL_NOMINAL.M")	106
11.6. LEITURA DO SENTIDO DE CADA COTA ("LER_EXCEL_SENTIDO.M")	108
11.7. CARREGAR PACOTES DO OCTAVE FORGE ("LOAD_PKG.M")	109
11.8. CORRER PROGRAMAS PARA TODAS AS CADEIAS ("ALL_FMK.M")	110
12. APÊNDICE 5	117
13. APÊNDICE 6	119

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - CUSTO DE ALTERAÇÕES E QUANTIDADE DE INFORMAÇÃO DISPONÍVEL DURANTE O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO [1].....	1
FIGURA 1.2 - CUSTOS EFETIVOS VS. CUSTOS AFETADOS DURANTE A VIDA DE UM PRODUTO (ADAPTADO DE [1])	2
FIGURA 1.3 - FLUXOGRAMA DO TRABALHO DESENVOLVIDO	3
FIGURA 2.1 - MÓDULO BÁSICO DO PRODUTO EM ESTUDO.....	5
FIGURA 2.2 - MÓDULO ESPECÍFICO DO PRODUTO EM ESTUDO.....	5
FIGURA 2.3 - SISTEMA DE COORDENADAS GLOBAL [2].....	6
FIGURA 2.4 - RPS DA PEÇA	7
FIGURA 2.5 - DESENHO TÉCNICO DE UM COMPONENTE	8
FIGURA 2.6 - ESQUEMA DO <i>LAYOUT</i> DO PROCESSO.....	8
FIGURA 2.7 - INFLUÊNCIA DA FOLGA/INTERFERÊNCIA NA GEOMETRIA DA PEÇA FINAL [4]	10
FIGURA 2.8 - RELATÓRIO DIMENSIONAL DE UM PONTO	11
FIGURA 2.9 – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE PERCENTAGEM DE PEÇAS FORA DE TOLERÂNCIA (VERMELHO) OU QUASE (AMARELO) DURANTE VÁRIAS SEMANAS NOS PONTOS AVALIADOS	11
FIGURA 3.1 - ANÁLISE DE TOLERÂNCIAS VERSUS SÍNTESE DE TOLERÂNCIAS [6]	14
FIGURA 3.2 - EXEMPLO DE UM SISTEMA MECÂNICO SIMPLES (DIMENSÕES EM MM).....	15
FIGURA 3.3 - MONTAGEM DE EXEMPLO PARA CÁLCULO DE TOLERÂNCIAS.....	16
FIGURA 3.4 - RACIOCÍNIO PARA O CÁLCULO DE TOLERÂNCIAS.....	17
FIGURA 3.5 - DISTRIBUIÇÃO DE PEÇAS ESTAMPADAS (ADAPTADO DE [12]).....	19
FIGURA 3.6 - ROTAÇÃO VS. TRANSLAÇÃO DE UM COMPONENTE.....	20
FIGURA 3.7 - CADEIA DE COTAS DE PNTAY	22
FIGURA 4.1 - COMPARAÇÃO DE DIFERENTES Cp.....	24
FIGURA 4.2 - EXEMPLO DE UMA FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA [16]	27
FIGURA 4.3 - HIPÓTESES DE MODELAÇÃO DA FUNÇÃO	28
FIGURA 4.4 – RESULTADOS. À ESQUERDA COM MODELO DA FIGURA 4.3 A); À DIREITA COM MODELO DA FIGURA 4.3 B).	28
FIGURA 4.5 - FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES	29
FIGURA 4.6 - EXEMPLIFICAÇÃO DO RACIOCÍNIO DA ANÁLISE DAS FOLGAS INDIVIDUALMENTE	30
FIGURA 4.7 – CURVA NORMAL.....	32
FIGURA 4.8 - EXEMPLO DO GRÁFICO OBTIDO NO PROGRAMA	33
FIGURA 4.9 - FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA	35
FIGURA 4.10 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE PNTAZ	36
FIGURA 4.11 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE PNTAZ (INDIVIDUALMENTE)	36
FIGURA 4.12 - LOCALIZAÇÃO DAS JUNTAS	41
FIGURA 5.1 - POSSÍVEL SOLUÇÃO ALTERNATIVA 1	44
FIGURA 5.2 - POSSÍVEL SOLUÇÃO ALTERNATIVA 2.....	44
FIGURA 5.3 - POSSÍVEL SOLUÇÃO ALTERNATIVA 3.....	44
FIGURA 5.4 - POSSÍVEL SOLUÇÃO ALTERNATIVA 4.....	45
FIGURA 5.5 - POSSÍVEL SOLUÇÃO ALTERNATIVA 5.....	45
FIGURA 5.6 - POSSÍVEL SOLUÇÃO ALTERNATIVA 6.....	46
FIGURA 5.7 - POSSÍVEL SOLUÇÃO ALTERNATIVA 7.....	46
FIGURA 5.8 - POSSÍVEL SOLUÇÃO ALTERNATIVA 8.....	47
FIGURA 5.9 - POSSÍVEL SOLUÇÃO ALTERNATIVA 6.....	47

FIGURA 5.10 - POSSÍVEL SOLUÇÃO ALTERNATIVA 10	48
FIGURA 8.1 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA DE COTAS DE PNTAY	54
FIGURA 8.2 - CADEIA DE COTAS DE PNTAY	54
FIGURA 8.3 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA PNTAZ	55
FIGURA 8.4 - CADEIA DE COTAS DE PNTAZ	55
FIGURA 8.5 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA PNTAX	56
FIGURA 8.6 - CADEIA DE COTAS DE PNTAX	56
FIGURA 8.7 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA PNTBY	57
FIGURA 8.8 - CADEIA DE COTAS DE PNTBY	57
FIGURA 8.9 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA DE COTAS PNTBZ	58
FIGURA 8.10 - CADEIA DE COTAS DE PNTBZ	58
FIGURA 8.11 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA DE COTAS PNTBX	59
FIGURA 8.12 - CADEIA DE COTAS DE PNTBX	59
FIGURA 8.13 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA CDIRA	60
FIGURA 8.14 - CADEIA DE COTAS DE CDIRA	60
FIGURA 8.15 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA CDIRB	61
FIGURA 8.16 - CADEIA DE COTAS DE CDIRB	61
FIGURA 8.17 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA CDIRX	62
FIGURA 8.18 - CADEIA DE COTAS DE CDIRX	62
FIGURA 8.19 - ESQUEMA EM BLOCOS DE FESQY	63
FIGURA 8.20 - CADEIA DE COTAS DE FESQY	63
FIGURA 8.21 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA DE COTAS FESQZ	64
FIGURA 8.22 - CADEIA DE COTAS DE FESQZ	64
FIGURA 8.23 - ESQUEMA EM BLOCOS DE FESQX	65
FIGURA 8.24 - CADEIA DE COTAS DE FESQX	65
FIGURA 8.25 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA FDIRY	66
FIGURA 8.26 - CADEIA DE COTAS DE FDIRY	66
FIGURA 8.27 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA FDIRZ	67
FIGURA 8.28 - CADEIA DE COTAS DE FDIRZ	67
FIGURA 8.29 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA FDIRX	68
FIGURA 8.30 - CADEIA DE COTAS DE FDIRX	68
FIGURA 8.31 - CADEIA DE COTAS DE GLUVY	69
FIGURA 8.32 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA GLUVY	69
FIGURA 8.33 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA GLUVZ	70
FIGURA 8.34 - CADEIA DE COTAS DE GLUVZ	70
FIGURA 8.35 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA GLUVX	71
FIGURA 8.36 - CADEIA DE COTAS DE GLUVX	71
FIGURA 8.37 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA SPDRY	72
FIGURA 8.38 - CADEIA DE COTAS DE SPDRY	72
FIGURA 8.39 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA SPDRY	72
FIGURA 8.40 - ESQUEMA EM BLOCOS DE SPDRZ	73
FIGURA 8.41 - CADEIA DE COTAS DE SPDRZ	73
FIGURA 8.42 - ESQUEMA EM BLOCOS DE SPDRX	74
FIGURA 8.43 - CADEIA DE COTAS DE SPDRX	74
FIGURA 8.44 - CADEIA DE COTAS DE AIRBY	75
FIGURA 8.45 - ESQUEMA EM BLOCOS DE AIRBY	75
FIGURA 8.46 - ESQUEMA EM BLOCOS DE AIRCY	76

FIGURA 8.47 - CADEIA DE COTAS DE AIRCY	76
FIGURA 8.48 - ESQUEMA EM BLOCOS DE AIRBZ	77
FIGURA 8.49 - CADEIA DE COTAS DE AIRBZ	77
FIGURA 8.50 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA AIRCZ	78
FIGURA 8.51 - CADEIA DE COTAS DE AIRCZ	78
FIGURA 8.52 - ESQUEMA EM BLOCOS DA CADEIA AIRCX	79
FIGURA 8.53 - CADEIA DE COTAS DE AIRCX	79
FIGURA 8.54 - CADEIA DE COTAS DE CENTY	80
FIGURA 8.55 - ESQUEMA EM BLOCOS DE CENTY	80
FIGURA 8.56 - ESQUEMA EM BLOCOS DE CENTZ.....	81
FIGURA 8.57 - CADEIA DE COTAS DE CENTZ	81
FIGURA 8.58 - CADEIA DE COTAS DE CENTX	82
FIGURA 8.59 - ESQUEMA EM BLOCOS DE CENTX	82
FIGURA 8.60 - ESQUEMA EM BLOCOS DE SPESY	83
FIGURA 8.61 - CADEIA DE COTAS DE SPESY	83
FIGURA 8.62 - CADEIA DE COTAS DE SPESZ.....	84
FIGURA 8.63 - ESQUEMA EM BLOCOS DE SPESZ.....	84
FIGURA 8.64 - ESQUEMA EM BLOCOS DE SPESX	85
FIGURA 8.65 - CADEIA DE COTAS DE SPESX	85
FIGURA 10.1 - FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA	93
FIGURA 13.1 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE PNTAY.....	119
FIGURA 13.2 – VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE PNTAY INDIVIDUALMENTE	119
FIGURA 13.3 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE PNTAZ	120
FIGURA 13.4 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE PNTAZ INDIVIDUALMENTE	120
FIGURA 13.5 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE PNTAX.....	120
FIGURA 13.6 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE PNTAX INDIVIDUALMENTE.....	120
FIGURA 13.7 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE PNTBZ	120
FIGURA 13.8 - VARIAÇÃO DA ÚNICA FOLGA DE PNTBZ.....	120
FIGURA 13.9 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE PNTBX.....	120
FIGURA 13.10 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE PNTBX INDIVIDUALMENTE	120
FIGURA 13.11 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE CDIRA.....	120
FIGURA 13.12 - VARIAÇÃO DA ÚNICA FOLGA DE CDIRA.....	120
FIGURA 13.13 – VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE CDIRB	120
FIGURA 13.14 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE CDIRB INDIVIDUALMENTE.....	120
FIGURA 13.15 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE CDIRX.....	120
FIGURA 13.16 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE CDIRX INDIVIDUALMENTE.....	120
FIGURA 13.17 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE FESQZ	120
FIGURA 13.18 - VARIAÇÃO DA ÚNICA FOLGA DE FESQZ.....	120
FIGURA 13.19 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE FESQX.....	120
FIGURA 13.20 - VARIAÇÃO DA ÚNICA FOLGA DE FESQX.....	120
FIGURA 13.21 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE FDIRZ.....	120
FIGURA 13.22 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE FDIRZ INDIVIDUALMENTE	120
FIGURA 13.23 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE FDIRX	120
FIGURA 13.24 - VARIAÇÃO DA ÚNICA FOLGA DE FDIRX	120
FIGURA 13.25 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE GLUVZ.....	120
FIGURA 13.26 - VARIAÇÃO DA ÚNICA FOLGA DE GLUVZ.....	120
FIGURA 13.27 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE GLUVX	120

FIGURA 13.28 - VARIAÇÃO DA ÚNICA FOLGA DE GLUVX	120
FIGURA 13.29 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE SPDRY	120
FIGURA 13.30 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE SPDRY INDIVIDUALMENTE	120
FIGURA 13.31 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE SPDRZ	120
FIGURA 13.32 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE SPDRZ INDIVIDUALMENTE.....	120
FIGURA 13.33 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE SPDRX	120
FIGURA 13.34 - VARIAÇÃO DA ÚNICA FOLGA DE SPDRX	120
FIGURA 13.35 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE AIRBZ	120
FIGURA 13.36 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE AIRBZ INDIVIDUALMENTE	120
FIGURA 13.37 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE AIRCZ	120
FIGURA 13.38 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE AIRCZ INDIVIDUALMENTE	120
FIGURA 13.39 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE AIRCX	120
FIGURA 13.40 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE AIRCX INDIVIDUALMENTE.....	120
FIGURA 13.41 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE CENTY	120
FIGURA 13.42 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE CENTY INDIVIDUALMENTE.....	120
FIGURA 13.43 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE CENTZ	120
FIGURA 13.44 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE CENTZ INDIVIDUALMENTE	120
FIGURA 13.45 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE CENTX	120
FIGURA 13.46 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE CENTX INDIVIDUALMENTE.....	120
FIGURA 13.47 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE SPESY	120
FIGURA 13.48 - VARIAÇÃO DA ÚNICA FOLGA DE SPESY	120
FIGURA 13.49 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE SPESZ.....	120
FIGURA 13.50 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE SPESZ INDIVIDUALMENTE	120
FIGURA 13.51 - VARIAÇÃO DA FOLGA E PROBABILIDADES DE SPESX	120
FIGURA 13.52 - VARIAÇÃO DE CADA FOLGA DE SPESX INDIVIDUALMENTE	120

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 - TOLERÂNCIAS DE POSIÇÃO DO DESENHO DE CONJUNTO.....	7
TABELA 2.2 - NORMA PARA O GAP DE SOLDADURA [3]	9
TABELA 3.1 - DIMENSÕES NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DE PNTAY	22
TABELA 3.2 - FOLGAS E TOLERÂNCIAS DAS FOLGAS DA CADEIA	22
TABELA 4.1 - VALORES MÍNIMOS DE CPK (ADAPTADO DE [14])	25
TABELA 4.2 - CPK VS. NÍVEL DE SIGMA VS. PARTES POR MILHÃO FORA DE TOLERÂNCIA (ADAPTADO DE [15])	25
TABELA 4.3 - DESVIO PADRÃO DE COMPONENTES	31
TABELA 4.4 - PROBABILIDADES ESTUDADAS.....	38
TABELA 4.5 - TABELA DE ANÁLISE DE JUNTAS DO MÓDULO BÁSICO	39
TABELA 4.6 – LEGENDA DA TABELA 4.5	40
TABELA 8.1 - DIMENSÕES NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DE CADA COTA (PNTAY)	54
TABELA 8.2 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (PNTAY)	54
TABELA 8.3 - DIMENSÕES NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DE CADA COTA (PNTAZ).....	55
TABELA 8.4 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (PNTAZ).....	55
TABELA 8.5 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (PNTAX).....	56
TABELA 8.6 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (PNTAX)	56
TABELA 8.7 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (PNTBY)	57
TABELA 8.8 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (PNTBZ).....	58
TABELA 8.9 - FOLGA DA CADEIA DE COTAS (PNTBZ).....	58
TABELA 8.10 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (PNTBX)	59
TABELA 8.11 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (PNTBX)	59
TABELA 8.12 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (CDIRA).....	60
TABELA 8.13 - FOLGA DA CADEIA DE COTAS (CDIRA)	60
TABELA 8.14 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (CDIRB)	61
TABELA 8.15 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (CDIRB)	61
TABELA 8.16 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (CDIRX).....	62
TABELA 8.17 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (CDIRX)	62
TABELA 8.18 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (FESQY).....	63
TABELA 8.19 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (FESQZ)	64
TABELA 8.20 - FOLGA DA CADEIA DE COTAS (FESQZ)	64
TABELA 8.21 - DIMENSÕES NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (FESQX).....	65
TABELA 8.22 - FOLGA DA CADEIA DE COTAS (FESQX).....	65
TABELA 8.23 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (FDIRY)	66
TABELA 8.24 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (FDIRZ).....	67
TABELA 8.25 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (FDIRZ)	67
TABELA 8.26 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (FDIRX)	68
TABELA 8.27 - FOLGA DA CADEIA DE COTAS (FDIRX)	68
TABELA 8.28 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (GLUVY)	69
TABELA 8.29 - FOLGA DA CADEIA DE COTAS (GLUVZ).....	70
TABELA 8.30 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (GLUVZ).....	70
TABELA 8.31 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (GLUVX)	71
TABELA 8.32 – FOLGA DA CADEIA DE COTAS (GLUVX).....	71
TABELA 8.33 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (SPDRY).....	72

TABELA 8.34 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (SPDRY)	72
TABELA 8.35 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (SPDRZ).....	73
TABELA 8.36 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (SPDRZ)	73
TABELA 8.37 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (SPDRX)	74
TABELA 8.38 - FOLGA DA CADEIA DE COTAS (SPDRX)	74
TABELA 8.39 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (AIRBY).....	75
TABELA 8.40 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (AIRCY).....	76
TABELA 8.41 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (AIRBZ)	77
TABELA 8.42 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (AIRBZ).....	77
TABELA 8.43 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (AIRCZ)	78
TABELA 8.44 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (AIRCZ).....	78
TABELA 8.45 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (AIRCX).....	79
TABELA 8.46 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (AIRCX)	79
TABELA 8.47 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (CENTY)	80
TABELA 8.48 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (CENTY).....	80
TABELA 8.49 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (CENTZ)	81
TABELA 8.50 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (CENTZ).....	81
TABELA 8.51 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (CENTX).....	82
TABELA 8.52 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (CENTX)	82
TABELA 8.53 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (SPESY)	83
TABELA 8.54 - FOLGA DA CADEIA DE COTAS (SPESY)	83
TABELA 8.55 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (SPESZ)	84
TABELA 8.56 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (SPESZ).....	84
TABELA 8.57 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS (SPESX)	85
TABELA 8.58 - FOLGAS DA CADEIA DE COTAS (SPESX).....	85
TABELA 9.1 - NOMENCLATURA E POSIÇÕES A VERIFICAR.....	87
TABELA 9.2 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS.....	87
TABELA 9.3 - COTA A VERIFICAR (TOLERÂNCIAS A AMARELO)	87
TABELA 9.4 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS.....	88
TABELA 9.5 - COTA A VERIFICAR (TOLERÂNCIAS A AMARELO)	88
TABELA 9.6 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS.....	88
TABELA 9.7 - COTA A VERIFICAR (TOLERÂNCIAS A AMARELO)	88
TABELA 9.8 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS.....	89
TABELA 9.9 - COTA A VERIFICAR (TOLERÂNCIAS A AMARELO)	89
TABELA 9.10 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS.....	89
TABELA 9.11 - COTA A VERIFICAR (TOLERÂNCIAS A AMARELO)	89
TABELA 9.12 - COTAS NOMINAIS E TOLERÂNCIAS DA CADEIA DE COTAS.....	90
TABELA 9.13 - COTA A VERIFICAR (TOLERÂNCIAS A AMARELO)	90

LISTA DE SIGLAS

RPS – *Reference Point System* (Sistema de pontos de referência)

CAD 3D – *Computer Aided Design 3 D* (Desenho Assistido por Computador 3D)

FMK – *Funktionmaßkatalog* (Lista de pontos funcionais)

LSL – *Lower Specification Limit* (Limite de especificação inferior)

USL – *Upper Specification Limit* (Limite de especificação superior)

LISTA DE ABREVIATURAS

\emptyset_{pino} - Diâmetro do pino

$\emptyset_{min furo}$ - Diâmetro mínimo do furo

$f_{max furo}$ - Folga máxima no furo

$\emptyset_{max furo}$ - Diâmetro máximo do furo

$\emptyset_{min pino}$ - Diâmetro mínimo do pino

\emptyset_{furo} - Diâmetro do furo

$tolA_{sup}$ - Tolerância superior de A

$tolA_{inf}$ - Tolerância inferior de A

$tolB_{sup}$ - Tolerância superior de B

$tolB_{inf}$ - Tolerância de B inferior

$tolC_{sup}$ - Tolerância superior de C

$tolC_{inf}$ - Tolerância de C inferior
Cp – Capacidade de processo

Cpk – Índice de capacidade do processo
f(x) – Função de distribuição de probabilidades

F(x) – Função de distribuição acumulada

f – Folga

μ_{ind} - Valor médio da folga parcial

μ_{total} - Valor médio da folga total

σ_{ind} - Desvio padrão da folga parcial

σ_{total} - Desvio padrão total

Nfolgas – N° de folgas

Var – Variância

f_{ind} - Folga parcial

f_{total} - Folga total

μ – Média

σ – Desvio padrão

Códigos das cadeias de cotas

Folha Excel	Código	Direção	Folha Excel	Código	Direção
PNT_A	PNTAY	Y	Sp_Dr	SPDRY	Y
	PNTAZ	Z		SPDRZ	Z
	PNTAX	X		SPDRX	X
PNT_B	PNTBY	Y	AIRBG	AIRBY	Y
	PNTBZ	Z		AIRCY	Y
	PNTBX	X		AIRBZ	Z
C_Dir	CDIRA	Y		AIRCZ	Z
	CDIRB	Y		AIRCX	X
	CDIRX	X	Cen_T	CENTY	Y
F_Esq	FESQY	Y		CENTZ	Z
	FESQZ	Z		CENTX	X
	FESQX	X	Sp_Es	SPESY	Y
F_Dir	FDIRY	Y		SPESZ	Z
	FDIRZ	Z		SPESX	X
	FDIRX	X			
G_Luv	GLUVY	Y			
	GLUVZ	Z			
	GLUVX	X			

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação e objetivo

A presente dissertação resulta de uma vontade da empresa – de fabrico de conjuntos soldados para a indústria automóvel - onde esta foi desenvolvida de levar a cabo um estudo de um dos seus produtos de maneira a investigar a dificuldade ou mesmo impossibilidade de cumprir as especificações exigidas pelos seus clientes. O produto escolhido como caso de estudo para este trabalho é um suporte metálico (SPI), específico de uma variante de um modelo automóvel.

O produto em questão é uma montagem soldada de diversos componentes e verifica-se que esta fica com pontos fora de tolerância quando os componentes individualmente se encontram dentro. Será importante averiguar a causa destes desvios.

Por último pretende-se desenvolver uma metodologia que permita que estes problemas sejam minimizados durante o projeto, onde, por um lado, o custo de alterações é menor (Figura 1.1) e, por outro, são afetados 70% a 80% dos custos futuros (Figura 1.2), e não durante a fase de produção, como acontece de momento, onde o custo de alterações é muito superior. Isto só é possível aumentando a quantidade de informação sobre o produto durante o projeto.

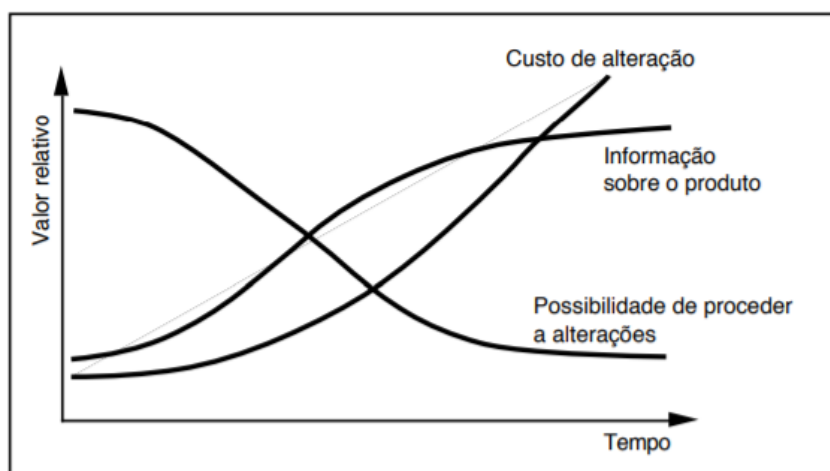


Figura 1.1 - Custo de alterações e quantidade de informação disponível durante o desenvolvimento do projeto [1]

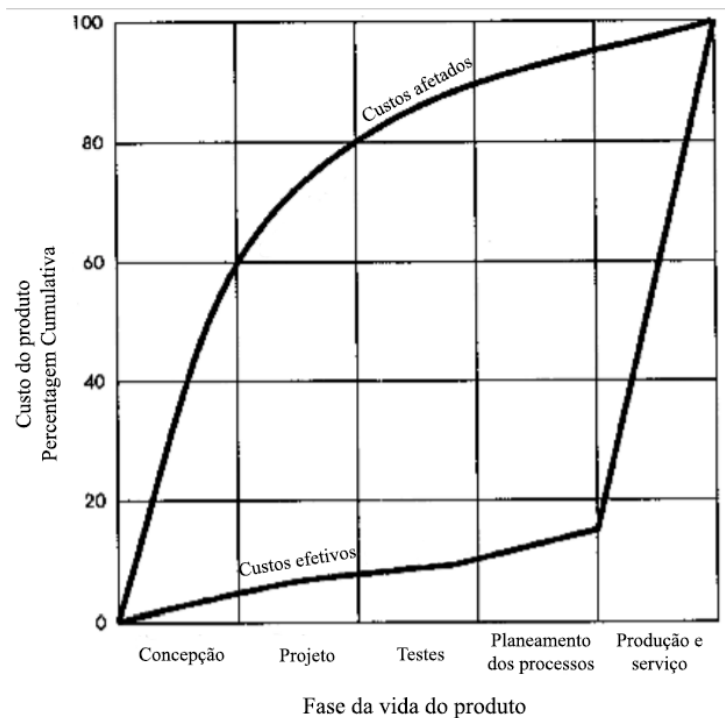


Figura 1.2 - Custos efetivos vs. custos afetados durante a vida de um produto (adaptado de [1])

1.2. Organização da dissertação

A presente dissertação, cujo fluxograma do trabalho desenvolvido se encontra na Figura 1.3, divide-se essencialmente em 4 grandes módulos. Numa fase introdutória fez-se a definição do problema e dos objetivos e uma pesquisa preliminar. Esta fase encontra-se nos Capítulos 1 e 2. De seguida, no Capítulo 3, fez-se a análise da peça, dos desenhos e construção de cadeias de cotas. Deste trabalho de preparação retiraram-se algumas conclusões, ainda que muito preliminares. Depois de desenvolvido este trabalho passou-se à simulação das dimensões das cadeias de cotas e à montagem “virtual” dos componentes, podendo assim calcular a folga total da cadeia, probabilidades de interferência e de folga demasiado grande, folgas individualmente, percentagens de influência de cada cota na variação da folga e construir histogramas. Esta fase do trabalho encontra-se no Capítulo 4, onde também se discutiram os resultados obtidos. No Capítulo 5 sugeriram-se mudanças de design da peça.

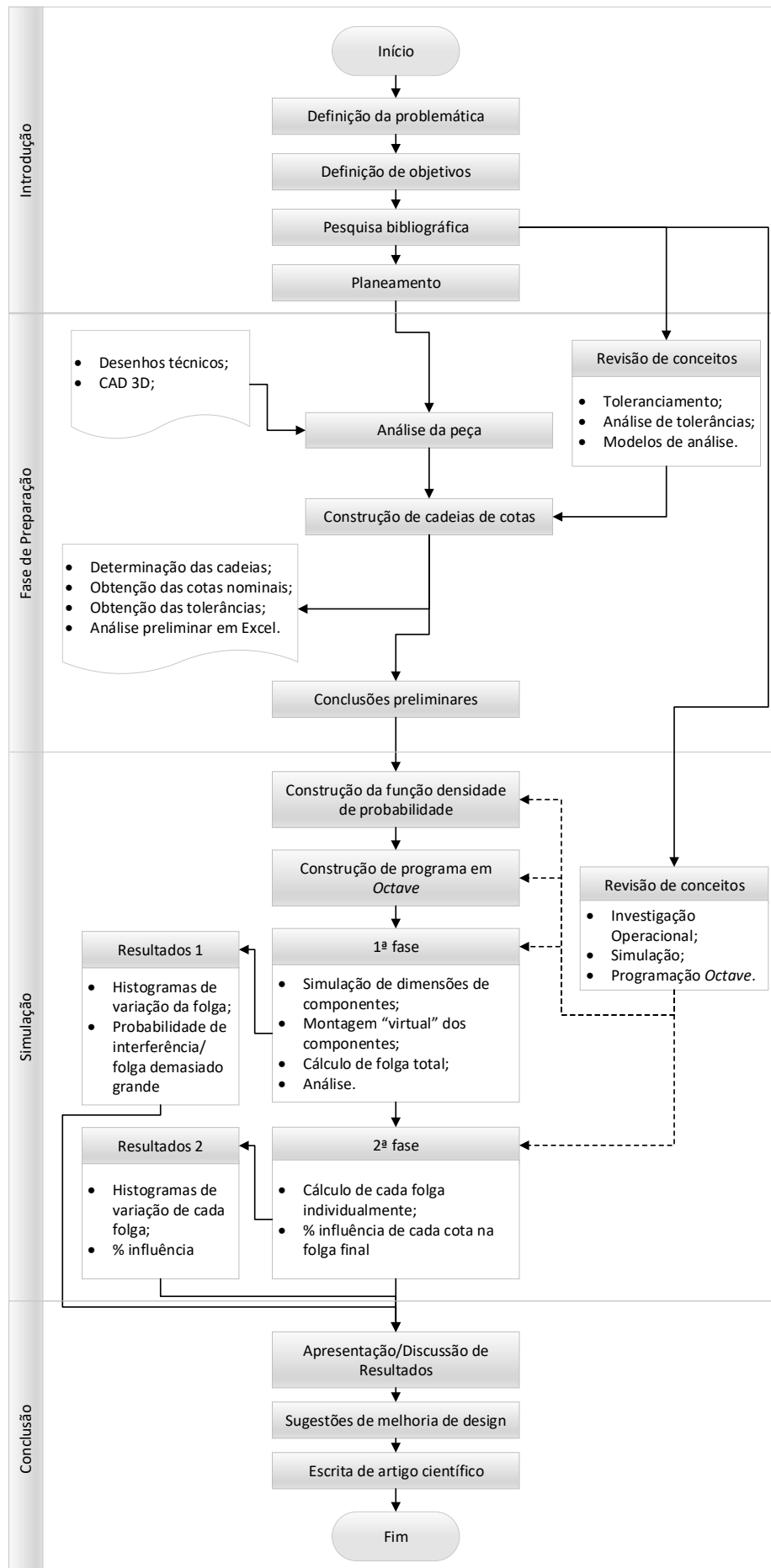


Figura 1.3 - Fluxograma do trabalho desenvolvido

2. CASO DE ESTUDO

2.1. O produto em estudo

O produto que irá ser estudado nesta dissertação de mestrado será um suporte metálico (SPI), específico de uma variante de um modelo automóvel. Por uma questão de salvaguarda de informação relevante do produto, as figuras que aparecem no documento estão desfocadas.

O produto em questão é composto por componentes fabricados noutras empresas que são depois soldados na empresa. Este pode ser dividido em dois módulos, um módulo básico (Figura 2.1) que é comum a uma variedade de modelos e um módulo específico (Figura 2.2) composto pelos componentes que são específicos para o modelo em causa. Os componentes são, na sua maioria, peças estampadas em aço com formas complexas.



Figura 2.1 - Módulo básico do produto em estudo

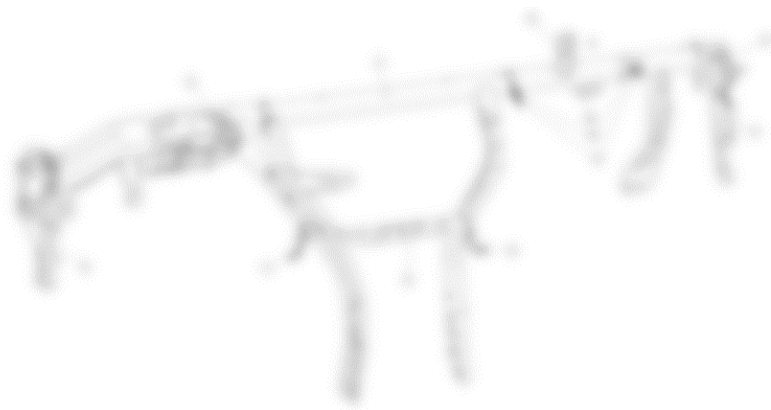


Figura 2.2 - Módulo específico do produto em estudo

2.1.1. Desenhos técnicos

Os desenhos técnicos de um produto como este são bastante complexos, no entanto estes não têm todas as informações necessárias (nomeadamente dimensões) para fabricar cada componente, pelo que é necessário recorrer ao modelo CAD 3D para saber a grande maioria das dimensões dos mesmos, devido à complexidade das formas.

No desenho técnico do produto final (montagem) as tolerâncias são de posição, principalmente em relação aos pontos RPS (*Reference Point System*).

O sistema de pontos de referência (RPS) utilizado pelo cliente permite que todas as peças/montagens estejam referenciadas a um sistema de coordenadas global para o veículo (Figura 2.3), com origem no centro do eixo dianteiro [2].

A maioria do toleranciamento de dimensões absolutas da peça é feito em relação aos RPS, que são tipicamente os pontos de fixação da peça à carroçaria do veículo (Figura 2.4).

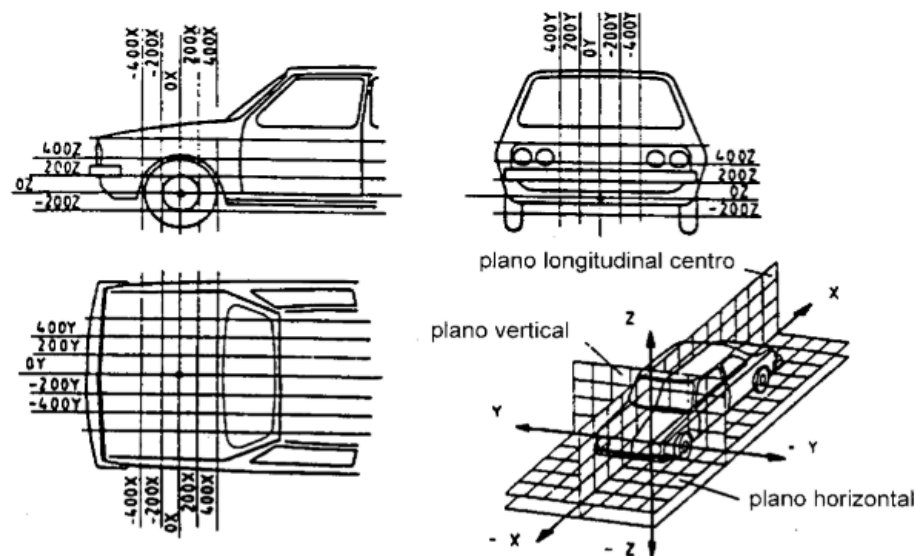


Figura 2.3 - Sistema de coordenadas global [2]

Um conceito também importante, especialmente no estudo da fixação da peça na ferramenta, é a chamada regra 3-2-1 que consiste em que para restringir os seis graus de liberdade de um corpo no espaço tridimensional são necessários três apoios numa direção, x por exemplo, dois noutra direção, z por exemplo, e por último um na direção que falta, y. Isto está bem visível na Figura 2.4 onde vemos três apoios em x (as áreas cortadas - RPS 002, 004 e 005), 2 apoios na direção z (furos - RPS 001 e 003) e um apoio segundo y (furo - RPS 001).

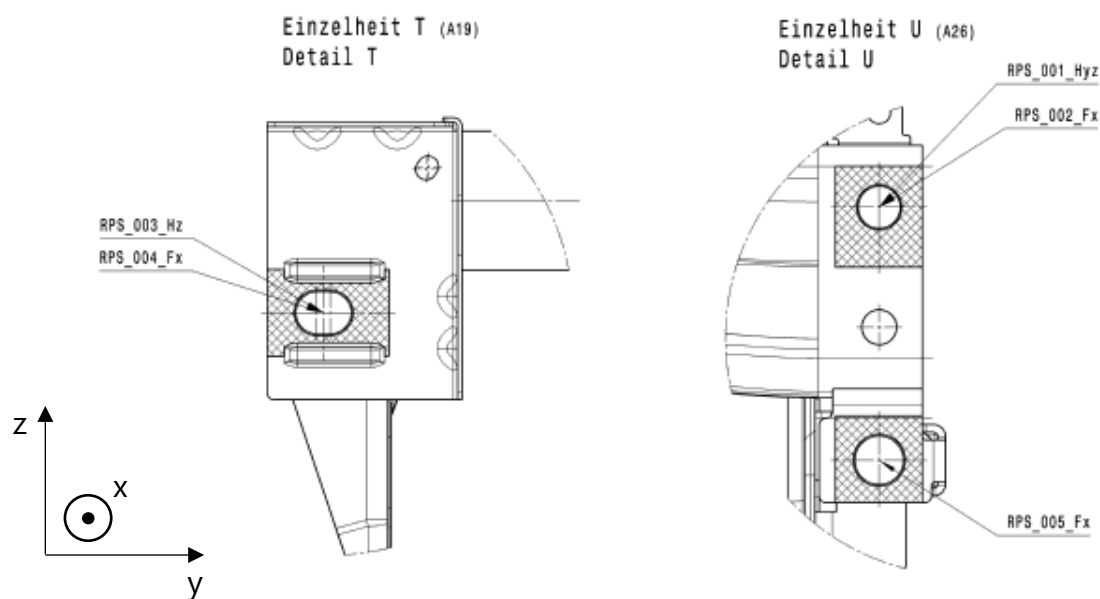



Figura 2.4 - RPS da peça

As tolerâncias de posição para cada ponto em relação ao RPS, (identificados no desenho com letras minúsculas) são dadas por via de uma tabela do género da que se pode ver na Tabela 2.1. Esta tabela tem não só informação da tolerância de posição como também a coordenada de cada ponto no referencial global do veículo e também as distâncias desse mesmo ponto ao RPS.

Tabela 2.1 - Tolerâncias de posição do desenho de conjunto

Feld Sect.	F.- Pkt. Funct. point	Globale Koordinaten Global coordinates			Aufnahmeart/ Bemerkung Mounting type/ note	Bezugspunkt: K Reference point: K Theor. Drehwinkel um Achse: Theor. angle of rotat. around axis:						
						x 462.0 y -664.0 z 568.75 x 0.0° y 0.0° z 0.0°						
						Wennmasse/Nominal sizes			Toleranzen/Tolerances			
x	y	z	AE1 x/a	AE2 y/b	AE3 z/c	x/a	y/b	z/c				
J32	1 FxHyz	462.0	-664.0	568.75	Flaeche 30.0+1x25.0+1; Rundloch Ø12.1+0.2	0.0	0.0	0.0	-	-	-	
J30	2 FxHz	462.0	664.0	568.75	Flaeche 35.0+1x25.0+1; Langloch 12.1x16.0	0.0	1328.0	0.0	-	±0.6	-	
J32	3 Fx	462.0	-664.0	496.00	Flaeche 25.0+1x25.0+1; Rundloch Ø14.0+0.2	0.0	0.0	-72.75	-	±0.4	±0.4	
C29	h	506.80	-599.5	504.95	Loch Ø9.0+0.2	44.80	64.5	-63.81	±0.5	±0.4	±0.4	

Nos desenhos técnicos dos componentes (Figura 2.5) estão presentes as tolerâncias de fabrico, essencialmente tolerâncias de perfil e de posição mas também algumas dimensionais para furos, para zonas funcionais, que contactam com outros componentes, enquanto que nas restantes zonas se aplicam tolerâncias gerais de acordo com a ISO 2768-cL.

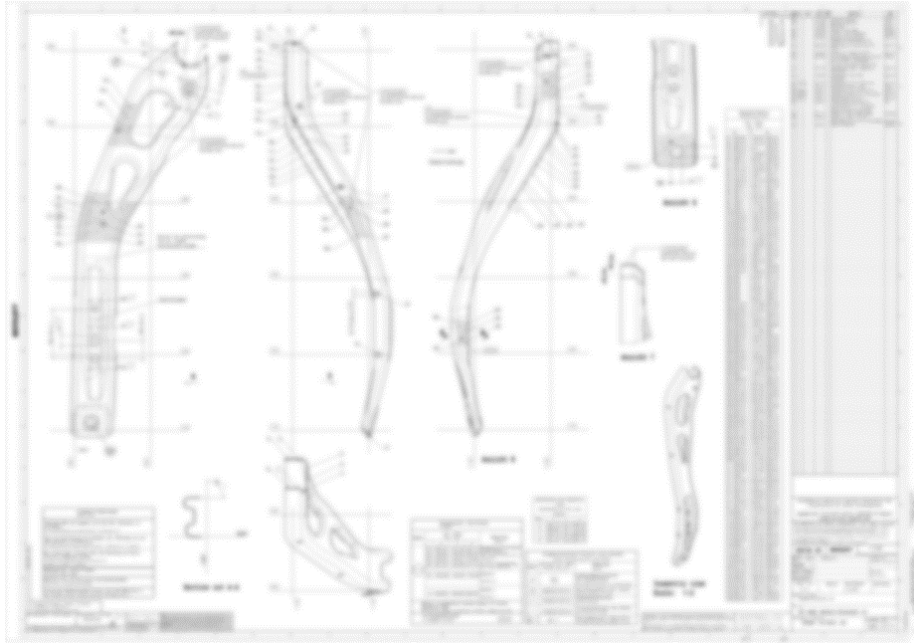


Figura 2.5 - Desenho técnico de um componente

2.2. O processo

A soldadura é efetuada por robôs (automatizada) e a carga e descarga dos componentes e subconjuntos na ferramenta é manual. Devido à geometria da peça, a soldadura tem de ser feita em várias estações, uma vez que existem cordões que ficariam inacessíveis se todos os componentes fossem montados simultaneamente. Em cada estação são acrescentados componentes ou subconjuntos provenientes de outras estações (Figura 2.6). Quando todos estiverem soldados, a peça é inspecionada numa galga (designação para sistema de controlo automatizado que verifica a peça em diversos pontos críticos de maneira a aferir a sua conformidade em relação às especificações geométricas).

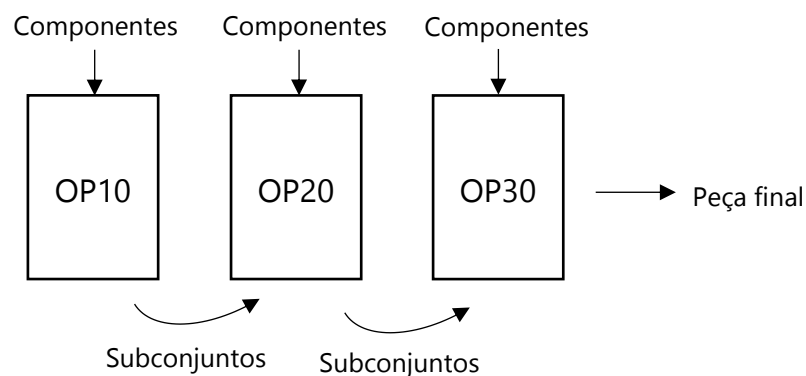
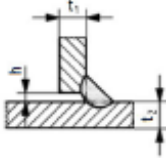


Figura 2.6 - Esquema do *layout* do processo

O processo de soldadura tem de obedecer a diversas normas do cliente. Uma das especificações estabelece qual o *gap* (folga entre componentes) máximo para soldadura (Tabela 2.2). Nesta dissertação considerou-se que o *gap*, idealmente, deveria encontrar-se entre 0 e 0,5 mm. Este valor é um valor médio, constitui uma especificação interna da empresa tendo em conta que os diferentes componentes têm espessuras diferentes.

Tabela 2.2 - Norma para o *gap* de soldadura [3]

No.	Reference number	Imperfection	Note	D	Quality level	
					C	B
3.2.1	617	Gap size on fillet welds on stampings	Gap size h at the root point applies.	If $t \leq 1.0$ mm: $h \leq 0.8$ mm If $1.0 \text{ mm} < t \leq 5.4$ mm: $h \leq 0.5 \times t_{\text{min}} + 0.3$ mm If $t > 5.4$ mm: $h \leq 3.0$ mm	If $t \leq 1.0$ mm: $h \leq 0.5$ mm If $1.0 \text{ mm} < t \leq 5.4$ mm: $h \leq 0.5 \times t_{\text{min}}$ If $t > 5.4$ mm: $h \leq 2.7$ mm	If $t \leq 1.4$ mm: $h \leq 0.5$ mm If $1.4 \text{ mm} < t \leq 5.4$ mm: $h \leq 0.5 \times t_{\text{min}} - 0.2$ mm If $t > 5.4$ mm: $h \leq 2.5$ mm
3.2.2	617	Gap size on fillet welds on machined individual parts, fits, and precision stampings		$h \leq 0.5 \text{ mm} + 0.07 \times t_{\text{min}}$ If $t > 3$ mm: $h \leq 1 \text{ mm} + 0.2 \times t_{\text{min}}$	$h \leq 0.3 \text{ mm} + 0.07 \times t_{\text{min}}$ If $t > 3$ mm: $h \leq 0.5 \text{ mm} + 0.15 \times t_{\text{min}}$	$h \leq 0.2 \text{ mm} + 0.07 \times t_{\text{min}}$ If $t > 3$ mm: $h \leq 0.5 \text{ mm} + 0.07 \times t_{\text{min}}$

2.3. O problema

Como já referido, o problema que existe é o facto de a montagem final ficar com pontos fora de tolerância ainda que os componentes individualmente cumpram as especificações dimensionais e geométricas. Este problema pode ter diversas fontes, no entanto, esta dissertação foca-se essencialmente na análise da variação das folgas, uma vez que se suspeita que estas variam muito mais do que o exigido pelo cliente. Sabe-se que esse facto pode originar os desvios na peça final. Moos *et. al.* [4] estudou, para soldaduras por resistência, o efeito da folga ou interferência entre componentes na geometria da peça final, que se demonstrou ser importante, como se pode ver na Figura 2.7 c) e f). Entre o lado A) e B) o único parâmetro que varia é a folga entre os componentes e é, por isso, relevante este estudo uma vez que o foco do estudo é o *gap* de soldadura e não outros parâmetros da soldadura.

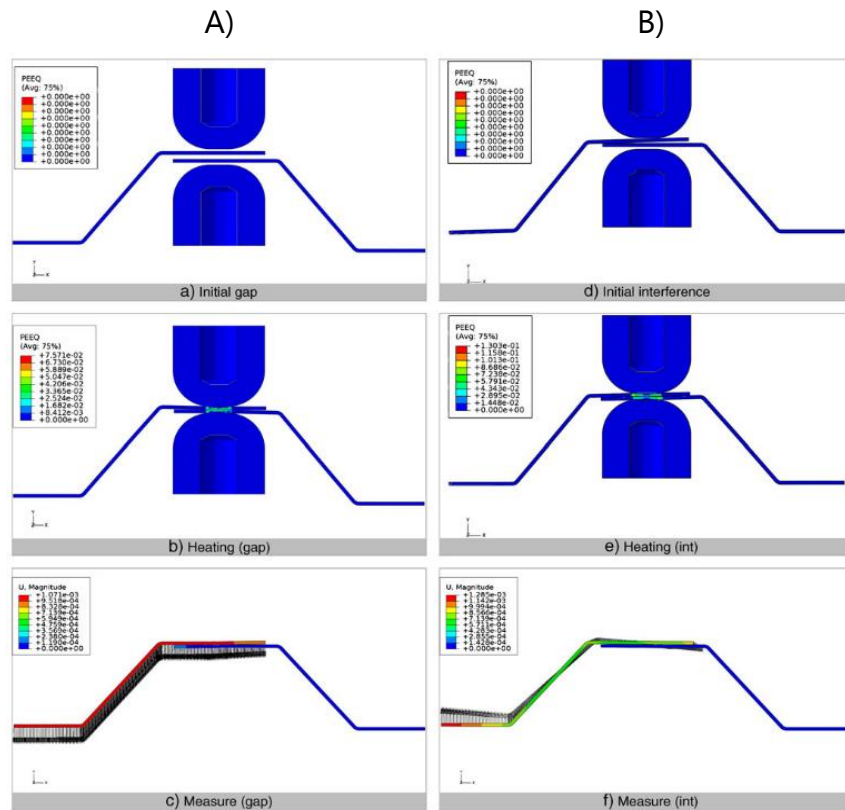


Figura 2.7 - Influência da folga/interferência na geometria da peça final [4]

A soldadura no produto em estudo não é soldadura de resistência como a do caso estudado por Moos *et. al.* [4], mas sim MAG, no entanto os resultados são análogos no que toca à variação da geometria da peça final resultante do *gap* entre componentes. Na soldadura MAG a entrega térmica aos componentes é maior, o que pode resultar numa distorção ainda mais acentuada.

A existência de contacto entre componentes ou de uma folga demasiado grande entre eles aquando da montagem dos mesmos na ferramenta de soldadura pode levar a que, depois da soldadura efetuada e da peça retirada do *jig*, esta se deforme para lá do admissível. Deng *et. al.* [5] afirma que numa montagem a fonte de variação menos previsível é a distorção durante a soldadura, distorção essa que é causada principalmente por dois parâmetros, o ciclo térmico da soldadura e erros no *gap* entre componentes.

Não existem dados fidedignos de quando/ quantas vezes é que montagem forçada ou montagem com folga demasiado grande acontece, fruto da subjetividade inerente a este tipo de análise, da sensibilidade necessária e da repetibilidade entre operadores difícil de obter. Seria interessante dados desta natureza para comparar com os resultados obtidos, no entanto tal não foi possível por razões operacionais da empresa.

Estes desvios são evidenciados nos relatórios de cotas funcionais (Figura 2.8). Nestes relatórios são essencialmente avaliadas as posições dos pontos funcionais, designados na empresa por FMK. As tolerâncias destes pontos específicos são especificações do cliente e, supostamente, o seu incumprimento pode levar à impossibilidade de montagem de outros componentes. Supostamente e não na prática pois o que acontece na realidade é que algumas peças não cumprem 100% dos requisitos definidos (vermelhos da Figura 2.9) e, no entanto, estas seguem para o cliente e não geram reclamações pela parte dele, o que leva a crer que as tolerâncias da montagem são mais apertadas do que aquilo que seria necessário. É de admitir que isto acontece como medida de segurança contra uma eventual falha e consequente paragem da linha de montagem, o que é bastante dispendioso. Assim, com uma margem de segurança maior, a probabilidade de existirem problemas mais a jusante é menor. No entanto isso acarreta custos e dificuldades acrescidas ao fornecedor da peça que se rege pelas especificações.

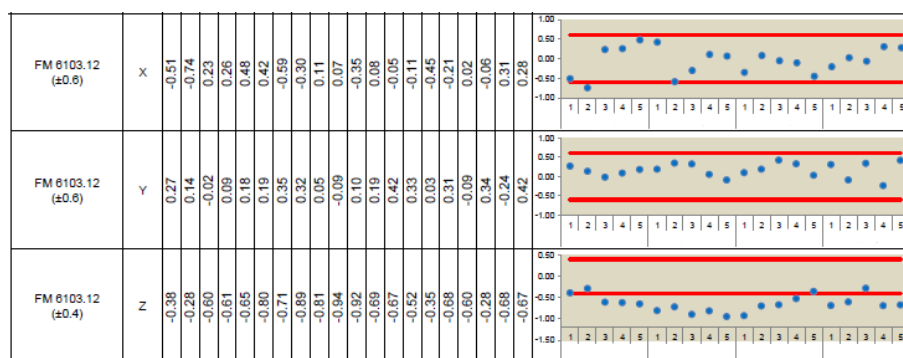


Figura 2.8 - Relatório dimensional de um ponto

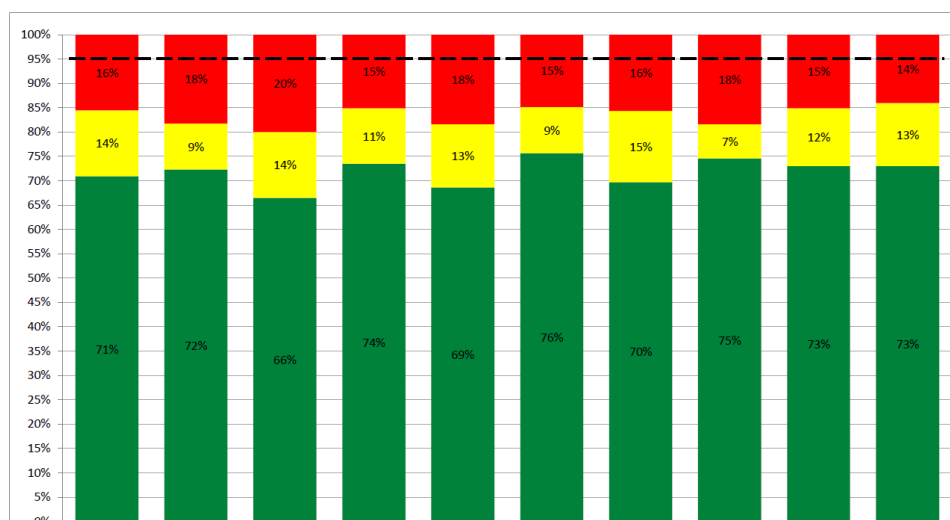


Figura 2.9 – Exemplo de relatório de percentagem de peças fora de tolerância (vermelho) ou quase (amarelo) durante várias semanas nos pontos avaliados

3. ANÁLISE E SÍNTESE DE TOLERÂNCIAS

3.1. Generalidades

A impossibilidade de construir inúmeras peças constantemente com as dimensões nominais, inerente da variabilidade própria dos processos mecânicos torna de extrema importância o toleranciamento mecânico. Um dos objetivos do toleranciamento é garantir que essa mesma variabilidade dos processos não excede valores admissíveis, condicionados pela necessidade de um tipo específico de montagem dos componentes entre si, por exemplo.

Existem dois tipos de toleranciamento mecânico: dimensional e geométrico. Enquanto que o toleranciamento dimensional apenas se debruça, como o próprio nome indica, sobre a variação das dimensões das peças, o toleranciamento geométrico complementa-a com a informação sobre a possibilidade de variação da geometria de maneira a retirar ambiguidades que as dimensionais não conseguem contemplar. As tolerâncias geométricas têm, em muitas situações, como principal objetivo garantir que cada componente num conjunto mecânico dá montagem, de maneira a que possa cumprir a sua função.

A definição de tolerâncias geométricas de orientação e de localização pressupõe o estabelecimento de elementos de referência que estão intimamente ligados com a função de cada elemento de um conjunto mecânico. Também isto torna o toleranciamento geométrico interessante e importante pois leva a uma padronização da ordem correta de montagem, quer na montagem final para a qual o conjunto foi pensado quer para a própria fabricação dos componentes ou para a sua inspeção [6].

Em relação ao toleranciamento do projeto podem-se seguir dois métodos dependendo da informação que existe e qual o objetivo, ilustrados na Figura 3.1. Um dos métodos, a análise de tolerâncias, consiste em partir das tolerâncias dos componentes e com elas chegar à tolerância da montagem. Outro método, a síntese de tolerâncias, consiste em partir de uma tolerância de montagem definida previamente e com ela obter as tolerâncias necessárias de cada componente. Idealmente deveria ter sido feita uma síntese de tolerâncias na fase de projeto de maneira a evitar incompatibilidades, mas como se verá mais à frente, esse trabalho parece não ter sido feito na medida em que as tolerâncias parecem de certa maneira padronizadas ao mesmo tempo que aparenta não haver uma ligação entre as tolerâncias dos componentes e da montagem.

Nesta dissertação vai ser feita essencialmente análise de tolerâncias, ou seja, partindo das tolerâncias dos componentes chegar à tolerância da montagem (tolerâncias das folgas).

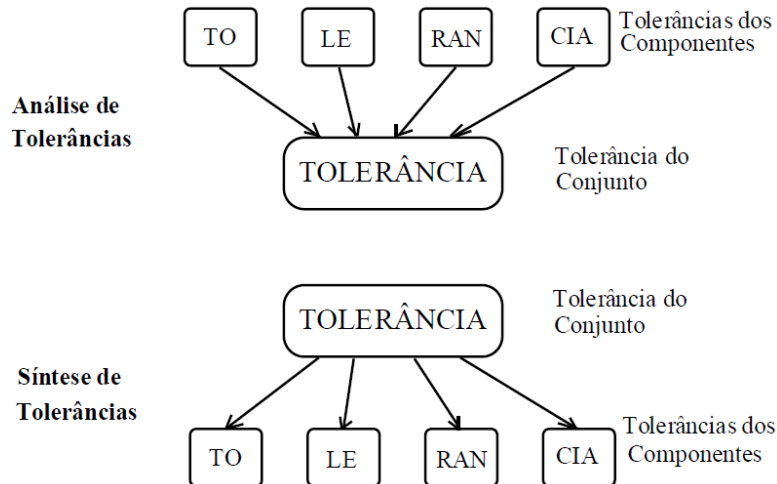


Figura 3.1 - Análise de tolerâncias versus síntese de tolerâncias [6]

Existem vários métodos para levar a cabo uma análise de tolerâncias, sendo que grande parte dos métodos encontrados na literatura não são práticos em aplicações reais pois são demasiado complexos e dependentes de informação que normalmente não está acessível ou não existe.

O modelo *vector loop* representa cada dimensão funcional como um vetor e cada tolerância correspondente como uma variação desse vetor [6] e [7]. O mapa de tolerâncias recorre a um espaço de pontos Euclidiano hipotético cujo tamanho e forma refletem todas as possíveis variações da tolerância [8]–[10]. O modelo tursor, o modelo Jacobiano-tursor, o modelo de matriz e o modelo do tursor de pequenos deslocamentos usam seis vetores de pequenos deslocamentos para modelar a posição e orientação de uma superfície [6], [7] e [10]. O modelo variacional usa equações matemáticas para modelar formas, cujos atributos podem ser ajustados variando alguns parâmetros dessas equações [8].

Um dos métodos mais expeditos de fazer uma análise de tolerâncias, é a definição de cadeias de cotas. Uma cadeia de cotas é essencialmente uma cadeia de dimensões fechada em que cada dimensão é obrigatoriamente entre superfícies funcionais (por exemplo superfícies de contacto entre componentes), de maneira a obter as tolerâncias mínimas e indispensáveis ao conjunto mecânico (Figura 3.2).

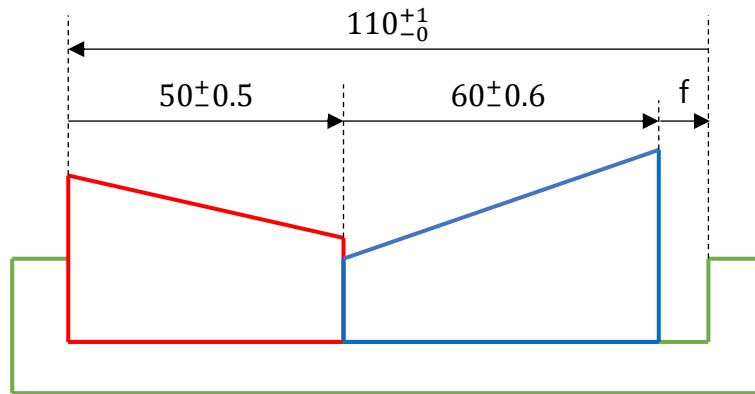


Figura 3.2 - Exemplo de um sistema mecânico simples (dimensões em mm)

O raciocínio para o cálculo da folga e a sua variação neste caso é bastante simples, mas análogo ao que irá ser feito mais adiante na análise de cadeias de cotas mais complexas. Para o exemplo da Figura 3.2 pode-se saber a folga nominal, a partir das cotas nominais dos componentes, assumindo um caso limite de todos os componentes encostados a um lado, de maneira a existir uma única folga, que representa a folga total do conjunto (Eq. 3.1).

$$f_{nominal} = 110 - 50 - 60 = 0 \text{ mm} \quad (3.1)$$

De seguida pode-se obter a folga máxima a partir da dimensão máxima da cota fêmea e dimensões mínimas das cotas macho (Eq. 3.2).

$$f_{max} = 111 - 49.5 - 59.4 = 2.1 \text{ mm} \quad (3.2)$$

E por último pode-se saber a folga mínima a partir da dimensão mínima da cota fêmea e dimensões máximas das cotas macho (Eq. 3.3).

$$f_{min} = 110 - 50.5 - 60.6 = -1.1 \text{ mm} \quad (3.3)$$

Pode-se então concluir que a tolerância da folga é 3.2 (diferença entre os limites da folga e também a soma das tolerâncias das várias cotas da cadeia) e que existe a possibilidade de interferência pois a folga mínima é negativa. Neste caso a montagem será com ajuste forçado ou, no limite, poderá não dar montagem.

É este o cenário que se julga existir no caso em estudo: variações permissíveis dos componentes excessivas (tolerâncias muito largas) que possibilitam a variação das folgas causando ora montagens com aperto ora montagens com folga acima do especificado.

Grande parte do toleranciamento presente nos desenhos do caso que vai ser objeto de estudo nesta dissertação é toleranciamento geométrico pelo que, para a definição das cadeias de cotas, foi necessário proceder a uma transformação das tolerâncias geométricas em equivalentes tolerâncias dimensionais. Esta conversão foi feita usando as tolerâncias dos componentes e sabendo que os pinos que posicionam a peça na ferramenta (que entram dentro dos furos RPS na Figura 3.3) têm uma tolerância dimensional de 0.05 mm e que a sua dimensão máxima é a dimensão mínima do furo e a sua dimensão mínima é a dimensão mínima do furo menos 0.05 mm (Eq. 3.4). Para o caso da Figura 3.3 a dimensão do pino é a que se pode ver na Eq. 3.5.

$$\phi_{pino} = \phi_{min\ furo}^{+0}_{-0.05} \quad (3.4)$$

$$\phi_{pino} = 13.1^{+0}_{-0.05} \text{ mm} \quad (3.5)$$

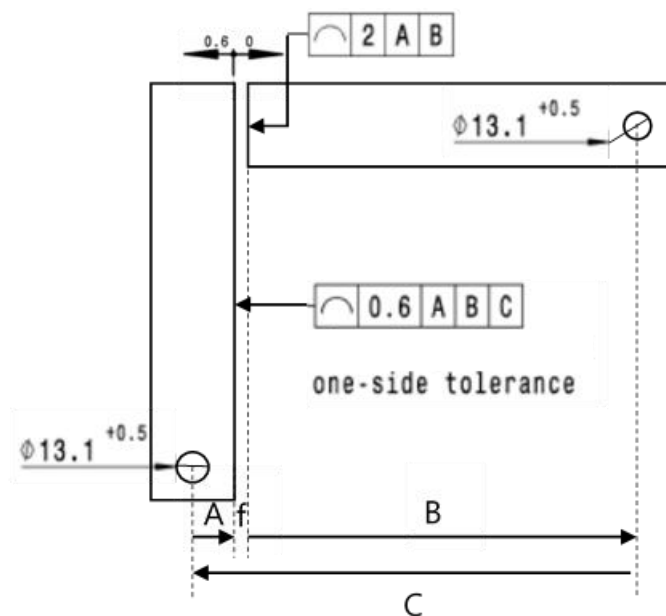


Figura 3.3 - Montagem de exemplo para cálculo de tolerâncias

Depois de se definir a cadeia de cotas deve-se então definir as tolerâncias de cada uma delas. Com base na informação acima sabe-se então que, para este caso, a folga máxima entre os furos e os pinos será 0.55 mm (Eq. 3.6).

$$f_{\max pino} = \phi_{\max furo} - \phi_{\min pino} = 13.6 - 13.05 = 0.55 \text{ mm} \quad (3.6)$$

Esta folga máxima será parte da tolerância das cotas. Será dividida em dois pois irá assumir-se que será bipartida, seguindo o raciocínio da Figura 3.4. O limite superior de tolerância para a cota A pode ver-se na Eq. 3.7.

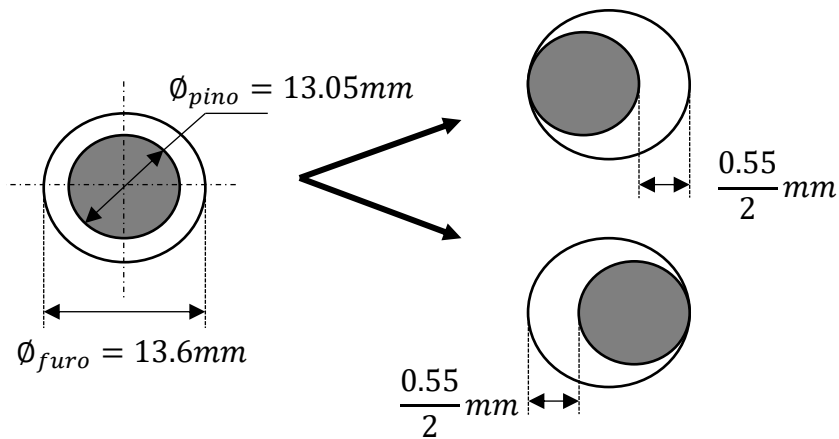


Figura 3.4 - Raciocínio para o cálculo de tolerâncias

$$tolA_{sup} = \frac{0.55}{2} + 0 = 0.275 \text{ mm} \quad (3.7)$$

O valor de 0 corresponde à tolerância de perfil unidirecional da face cotada pela cota A. Pelo mesmo raciocínio, o limite inferior da tolerância da cota A será dada pela Eq. 3.8.

$$tolA_{inf} = -\frac{0.55}{2} - 0.6 = -0.875 \text{ mm} \quad (3.8)$$

As tolerâncias restantes que faltam alocar são divididas pela cota B e C. A tolerância de perfil será usada na cota B e a da folga furo-pino na cota C.

Assim, as tolerâncias da cota B serão dadas pelas Eq. 3.9 e Eq. 3.10.

$$tolB_{sup} = \frac{2}{2} = 1 \text{ mm} \quad (3.9)$$

$$tolB_{inf} = -\frac{2}{2} = -1 \text{ mm} \quad (3.10)$$

E as da cota C serão dadas pelas Eq. 3.11 e Eq. 3.12.

$$tolC_{sup} = \frac{0.55}{2} = 0.275 \text{ mm} \quad (3.11)$$

$$tolC_{inf} = -\frac{0.55}{2} = -0.275 \text{ mm} \quad (3.12)$$

Este trabalho exemplificado acima foi feito nas 32 cadeias de cotas identificadas nos desenhos, o que equivale a mais de 200 cotas.

Estando este trabalho concluído desenvolveu-se a análise de tolerâncias propriamente dita. Para efetuar esta análise existem vários modelos possíveis, sendo que os mais conhecidos são o modelo da intermutabilidade total e o modelo estatístico. Enquanto que o modelo de intermutabilidade total pressupõe que todas as combinações de componentes montam sempre, o modelo estatístico, que pressupõe uma distribuição normal de cada cota, permite a não montagem de certas combinações de componentes, ainda que com uma probabilidade muito baixa. Nesta dissertação não vai ser aplicado nenhum destes modelos, mas sim um modelo criado especificamente para este caso sob o pressuposto de as peças estampadas não seguirem uma distribuição normal no longo prazo, como a grande maioria das peças obtidas por outros processos mecânicos.

O processo de estampagem implica a deformação plástica de chapa através de punções e matrizes. Essas matrizes e esses punções são dimensionados de maneira a que as peças resultantes cumpram as especificações, no entanto não são dimensionados para a cota média, como seria de esperar. Como forma de otimizar o tempo de vida das

ferramentas que, com a utilização, se desgastam e rapidamente saíam da especificação e tirando proveito da relativa baixa variabilidade do processo de estampagem (normal mais estreita), as ferramentas são dimensionadas para perto de um intervalo de especificação, por exemplo, com os furos perto da cota mínima. Com a utilização a distribuição normal que originalmente se encontrava perto de um limite de especificação vai-se deslocando ao longo do intervalo de tolerância até chegar ao limite oposto. Por exemplo, um punção circular que faça uma cavidade vai, com a sua utilização, diminuindo o seu diâmetro, fruto do desgaste sofrido. Se este punção tivesse sido dimensionado para a cota média, chegaria muito mais rápido ao limite de especificação, tendo assim um tempo de vida muito menor.

Esta evolução da normal resulta numa distribuição que é maioritariamente constante e que nas extremidades se assemelha aos limites de uma distribuição normal (Figura 3.5). É com este pressuposto que se irá utilizar este tipo de distribuição para simular diversas montagens de modo a estudar a variação das diversas folgas.

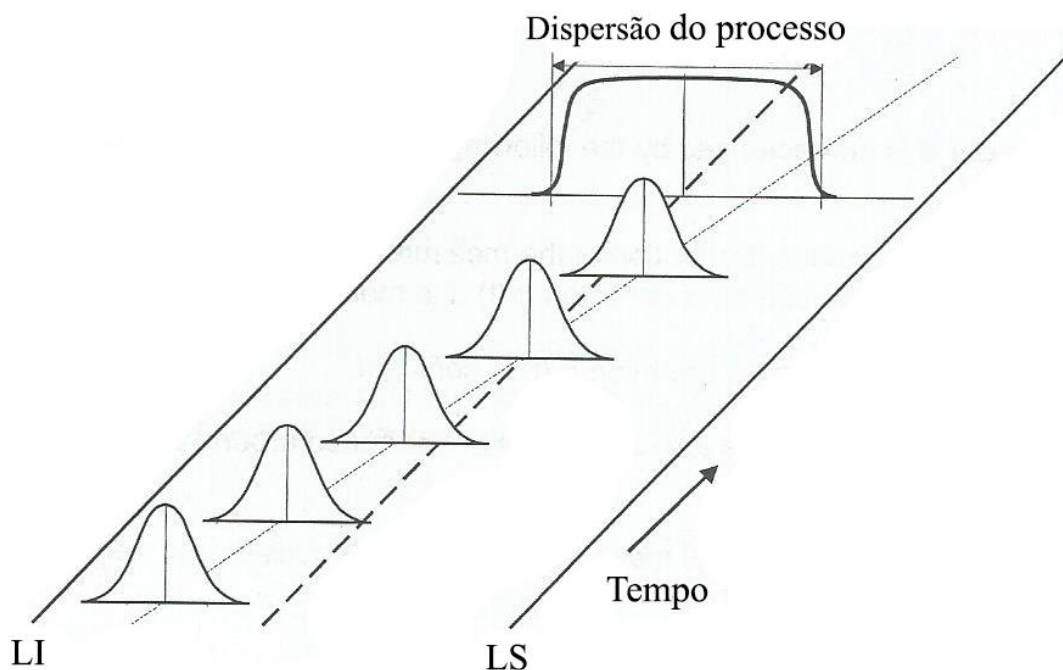


Figura 3.5 - Distribuição de peças estampadas (adaptado de [12])

3.2. Cadeias de cotas para análise da variação das folgas

Para analisar a variação das diversas folgas levou-se a cabo a definição de cadeias de cotas para os FMK, pontos em que é mais importante cumprir as especificações. A definição destas cadeias de cotas e posterior análise teve por base alguns pressupostos:

- Todos os componentes são montados simultaneamente numa só ferramenta, o que não é verdade pois a peça é soldada por fases em que em cada uma são acrescentados componentes. Isto retira do problema a possível influência de variação de posição dos subconjuntos;
- Não se teve em conta possíveis rotações dos componentes, apenas translações porque são usados os limites absolutos de tolerância, tirados dos desenhos, o que faz com que os efeitos da rotação não possam tornar os resultados piores do que os obtidos com este pressuposto (Figura 3.6);

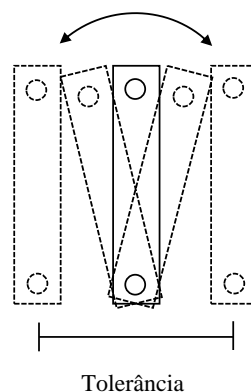


Figura 3.6 - Rotação vs. translação de um componente

- Os componentes não se deformam, ou seja, quando/ se existe contacto entre componentes, estes deslocam-se, o que não é verdade. No entanto seria difícil prever o comportamento final do componente sem recorrer a um estudo que saia fora do âmbito da dissertação;
- As peças são estampadas numa só cavidade, ou seja, num só conjunto de matriz punção e só de uma vez, de maneira a simplificar a função de densidade de probabilidade que mais à frente irá ser utilizada aquando da simulação de diversas montagens.

Em primeiro lugar definiram-se as cadeias de cotas, três para cada ponto (uma para cada direção (x, y e z)). Em segundo lugar, com recurso aos desenhos técnicos e ao modelo CAD 3D obtiveram-se as cotas nominais. Por último, analisando as informações dos desenhos técnicos, determinaram-se as tolerâncias de cada cota. Esta determinação das tolerâncias de cada cota está longe de ser trivial na medida em que estas não se encontram diretamente nos desenhos. Cada pessoa que faça uma análise deste género pode ter um raciocínio ligeiramente diferente e, conseqüentemente, tolerâncias diferentes. No entanto, quando se olha para o panorama geral, a conclusão será a mesma pois o parâmetro que interessa é a soma das tolerâncias e esta deverá ser igual independentemente do raciocínio.

Todos estes dados foram tratados num ficheiro *Excel* concebido para os analisar e obter uma previsão da variação das folgas de acordo com o modelo da intermutabilidade total e estatístico.

Chegou-se posteriormente à conclusão de que estes modelos não representam fielmente a realidade pelo que, como se referiu acima e se verá mais à frente, foi usada outra função de distribuição de probabilidade.

Por último verificou-se se as tolerâncias de posição especificadas no desenho de conjunto podem ser sempre cumpridas tendo em conta as tolerâncias dos componentes, tornando livre a cota entre o RPS e o ponto em que se quer analisar a tolerância e analisando a variação possível dessa mesma cota.

Tanto a representação das cadeias de cotas como as tabelas de análise das mesmas encontram-se no Apêndice 1.

3.2.1. Análise de resultados preliminar

Numa fase muito preliminar, foi realizada uma análise da variação da folga total de cada cadeia de cotas (Figura 3.7) com o modelo estatístico obtida (em folha *Excel*). Esta permitiu concluir que em todas as cadeias de cotas, ou quase todas, as folgas variam mais do que o desejado, havendo muitas vezes possibilidade de interferência, como aliás se pode ver nas tabelas em apêndice (Apêndice 1) e nas Tabela 3.1 e Tabela 3.2.

Prova de que algo não está bem no projeto é também, na verificação que se levou a cabo tornando a distância entre o RPS e o ponto a analisar livre; esta tem uma tolerância maior do que a definida no desenho de conjunto, o que não deveria acontecer. Esta análise encontra-se também em apêndice (Apêndice 2).

Tendo agora estes resultados preliminares partiu-se para a elaboração de um programa computacional, em código *Octave* que simula diversas possíveis montagens tendo em conta a função de densidade de probabilidade para as dimensões dos componentes. Pretendeu-se com este obter, por exemplo, as variações das folgas totais e também das folgas individualmente, para casos em que a cadeia de cotas tem mais que uma folga, como se verá de seguida, no Capítulo 4.



Figura 3.7 - Cadeia de cotas de PNTAY

Tabela 3.1 - Dimensões nominais e tolerâncias de PNTAY

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância*2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Borda tubo ROHR	+	452,97	1,125	-1,125	2,25	5,0625	454,095	451,845	451,845	454,095	452,97
3	Topo tunel	Zona do suporte	+	34,53	0,6	-0,6	1,2	1,44	35,13	33,93	33,93	35,13	34,53
5	Borda suporte	Referência B	+	89,61	0,125	-0,725	0,85	0,7225	89,735	88,885	88,885	89,735	89,31
6	Referência B	Furo esq. suporte (m)	-	42	0,275	-0,275	0,55	0,3025	42,275	41,725	42,275	41,725	42
7	Furo esq. suporte (m)	Furo dir. suporte (m1)	+	19	0,3	-0,3	0,6	0,36	19,3	18,7	18,7	19,3	19
8	Furo dir. suporte (m1)	PNT_A (a)	+	13,82	0,125	-0,125	0,25	0,0625	13,945	13,695	13,695	13,945	13,82
9	PNT_A (a)	RPS_001	-	568,52	0,6	-0,6	1,2	1,44	569,12	567,92	569,12	567,92	568,52

Tabela 3.2 - Folgas e tolerâncias das folgas da cadeia

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal z/ cotas médias)				Estatístico (Nominal z/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
2	Borda tubo ROHR	Topo tunel	+	0,295	3,450	2,170	-1,280	0,445	1,532	1,211	-0,321	0,295	1,532	1,061	-0,471
4	Zona do suporte	Borda suporte	+	0,295	3,450	2,170	-1,280	0,445	1,532	1,211	-0,321	0,295	1,532	1,061	-0,471
TOTAL				0,590	6,900	4,340	-2,560	0,890	3,064	2,422	-0,642	0,590	3,064	2,122	-0,942
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,580	1,532	1,346	-0,952								
				0,000	1,532	0,766	-1,532								

4. SIMULAÇÃO DE MONTAGENS

4.1. Conceitos utilizados

4.1.1. Simulação Monte-Carlo

Para simular montagens optou-se nesta dissertação por usar simulações do tipo Monte-Carlo, visto se tratar, segundo Yan *et. al.* [8], provavelmente o método mais simples para levar a cabo uma análise estatística de tolerâncias. Para além disso tem em consideração o comportamento probabilístico do processo de manufatura, estampagem neste caso, através a função de distribuição de probabilidades.

A simulação Monte-Carlo tem por base a obtenção de n amostras estocásticas (amostras pseudo-aleatórias) para cada dimensão, neste caso, amostras essas que obedecem à função de distribuição de probabilidades [13].

O procedimento geral é [8]:

- Usar um gerador para gerar pseudo-aleatoriamente (obedecendo à função de distribuição de probabilidades) n cadeias de cotas, sendo que cada cadeia é composta por várias dimensões;
- Montar as n cadeias de cotas virtualmente;
- Avaliar a variação dos parâmetros relevantes que, neste caso, irão ser as folgas de soldadura.

4.1.2. Índices de aptidão do processo – C_p e C_{pk}

O C_p , ou índice da capacidade de processo, é uma medida da capacidade do processo, ou seja, da capacidade de o processo produzir características dentro dos limites de especificação (LSL, limite de especificação inferior e USL, limite de especificação superior) [14]. Por exemplo, o processo da Figura 4.1 b), é mais capaz pois a sua variação dá-se num intervalo menor dentro dos limites de especificação do que o processo de Figura 4.1 a), havendo assim uma maior margem para possíveis erros ou deslocação da média, por exemplo.

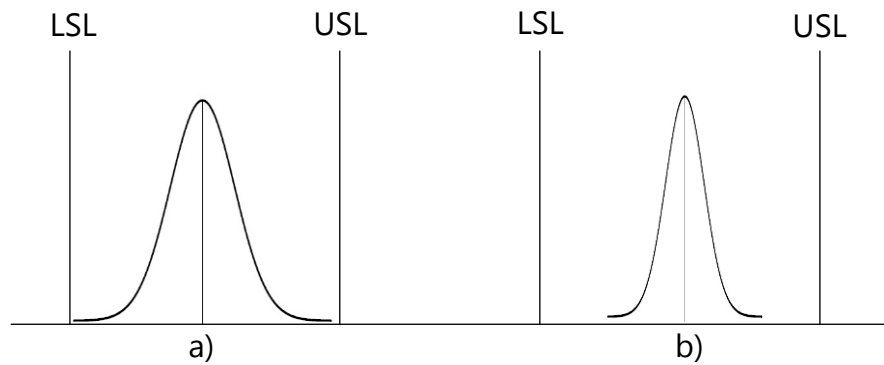


Figura 4.1 - Comparação de diferentes Cp

O Cp calcula-se através da Eq. 4.1.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (4.1)$$

O Cpk é uma variante do Cp onde, em vez de se ter em consideração todo o intervalo de especificação e toda distribuição, tem-se em conta somente a distância entre a média da distribuição e o limite de especificação mais próximo, e calcula-se através da Eq. 4.2 [14].

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right] \quad (4.2)$$

Este indicador é mais fidedigno na medida em que tem em conta a centragem, ou não, da distribuição dentro do intervalo de especificação.

Assumiu-se que os processos de fabrico dos componentes em “regime de cruzeiro” têm um Cpk de 1.33, o que equivale a uma distância entre a média e o limite de especificação mais próximo de 4 sigma. A Tabela 4.1 indica que o valor mínimo de Cpk para um processo existente (em “regime de cruzeiro”) deve ser 1.33. Pensa-se, portanto, ser um bom pressuposto.

Tabela 4.1 - Valores mínimos de Cpk (adaptado de [14])

Situação	Cpk mínimo para especificações bi-partidas	Cpk mínimo para especificações unidirecionais
Processo existente	1.33	1.25
Novo processo	1.50	1.45
Parâmetro crítico ou de segurança para processo existente	1.50	1.45
Parâmetro crítico ou de segurança para novo processo	1.67	1.60
Processo de qualidade <i>six sigma</i>	2.00	2.00

A Tabela 4.2 mostra a equivalência entre os valores de Cpk, nível de sigma, partes por milhão fora de tolerância (PPM) e percentagem de características dentro da especificação (% Yield). No âmbito do controlo da qualidade, um processo “ótimo” tem um Cpk de 2, ou seja, uma distância entre a média e o limite de especificação de 6 sigma.

Tabela 4.2 - Cpk vs. Nível de Sigma vs. Partes por Milhão fora de tolerância (adaptado de [15])

Cpk	Sigma	PPM	%Yield
2.00	6.0	3.4	99.99966%
1.67	5.0	233	99.98%
1.33	4.0	6210	99.4%
1.00	3.0	66807	93.3%
0.67	2.0	308530	69.1%
0.33	1.0	691462	30.9%

4.1.3. Método da rejeição vs método da inversão

Para simular várias possíveis montagens, como se verá mais à frente, é primeiro necessário gerar cotas pseudo-aleatórias que obedecem à função de distribuição de probabilidades definida. Para esse efeito existem vários métodos, sendo que os utilizados nesta dissertação serão o da rejeição numa primeira fase mas principalmente o da inversão.

O método da rejeição baseia-se essencialmente nos seguintes passos [16]:

1. Geração de um número pseudo-aleatório u_1 com distribuição uniforme entre 0 e 1, $U[0,1]$;
2. Definição da variável x_1 em que a e b são os limites inferior e superior do intervalo, respetivamente (neste caso serão os limites inferior e superior das diferentes cotas) (Eq. 4.2).

$$x_1 = a + (b - a) * u_1 \quad (4.2)$$

3. Cálculo da probabilidade de aceitação em que $f(moda)$ é o valor mais alto que a função de distribuição de probabilidades toma (Eq. 4.3).

$$P_a = \frac{f(x_1)}{f(moda)} \quad (4.3)$$

4. Geração de um número pseudo-aleatório u_2 com distribuição uniforme entre 0 e 1, $U[0,1]$;
5. Por último compara-se u_2 com a probabilidade de aceitação. Se $u_2 < P_a$ rejeita-se x_1 como número pseudo-aleatório, caso contrário aceita-se.

O método da rejeição é particularmente útil quando a função de distribuição acumulada não é invertível, no entanto é pouco eficiente na medida em que muito tempo de computação é desperdiçado pois muitos dos valores são rejeitados. Exatamente por estes motivos, optou-se nesta dissertação por usar o método da inversão.

O método da inversão é mais complexo pois é necessário determinar a função de distribuição acumulada (Figura 4.2), mas é bastante mais eficiente. Este método baseia-se nos seguintes passos [16]:

1. Determinação da função de distribuição acumulada (que é basicamente o integral da função de distribuição de probabilidades) que tomará sempre valores entre 0 e 1 qualquer que seja o x ;
2. Geração de um número pseudo-aleatório u_1 com distribuição uniforme entre 0 e 1, $U[0,1]$;
3. Igualar a função de distribuição acumulada a u_1 e obter x (Eq. 4.4)

$$u_1 = F(x) \Leftrightarrow x = F^{-1}(u) \quad (4.4)$$

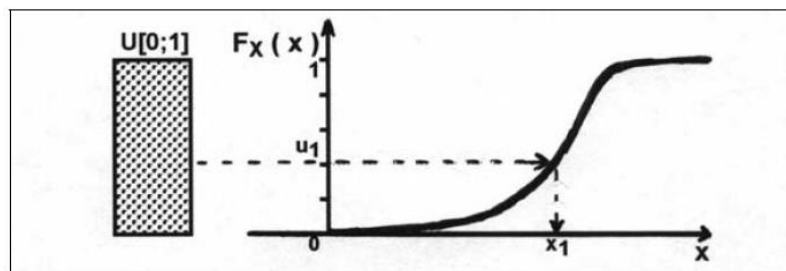


Figura 4.2 - Exemplo de uma função de distribuição acumulada [16]

4.1.4. A função de distribuição de probabilidades

Como já foi explicado acima, a distribuição de probabilidades foi obtida sob o pressuposto de que as peças estampadas não obedecem a uma distribuição normal, mas antes a uma distribuição obtida por uma evolução da normal ao longo do tempo (Figura 3.5). Nem todos os componentes do produto em causa são peças estampadas, no entanto uma grande maioria são, validando assim este pressuposto assumido para a função de distribuição de probabilidades.

De maneira a simplificar a modelação da função, as extremidades foram supostas triangulares, ou seja, em vez de serem um ramo de uma curva de Gauss, são retas. A próxima questão será definir qual o declive adequado para as retas, tendo em conta o que já foi referido antes sobre o Cpk de 1.33 e que isso implica uma distância de 4 sigma entre a média e o limite de especificação mais próximo (Figura 4.3).

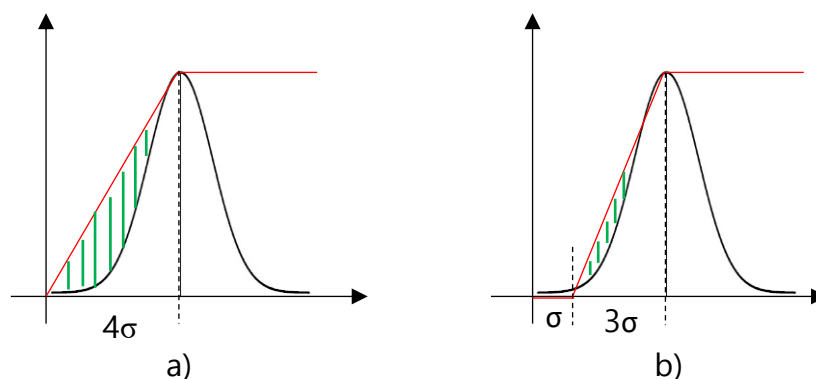


Figura 4.3 - Hipóteses de modelação da função

A opção escolhida para a modelação da função de densidade de probabilidade foi a da Figura 4.3 a), apesar de, como se vê pelo esboço, se encontrar mais longe da curva normal que a originou. Esta decisão foi tomada porque, por um lado, a diferença não é significativa (testes feitos com o método da rejeição que mostram as diferenças entre os dois métodos não são significativas - Figura 4.4) e, por outro, a opção da Figura 4.3 b) pressupõe a não existência de peças com dimensões perto dos limites, o que não é verdade, ainda que com uma probabilidade baixa.

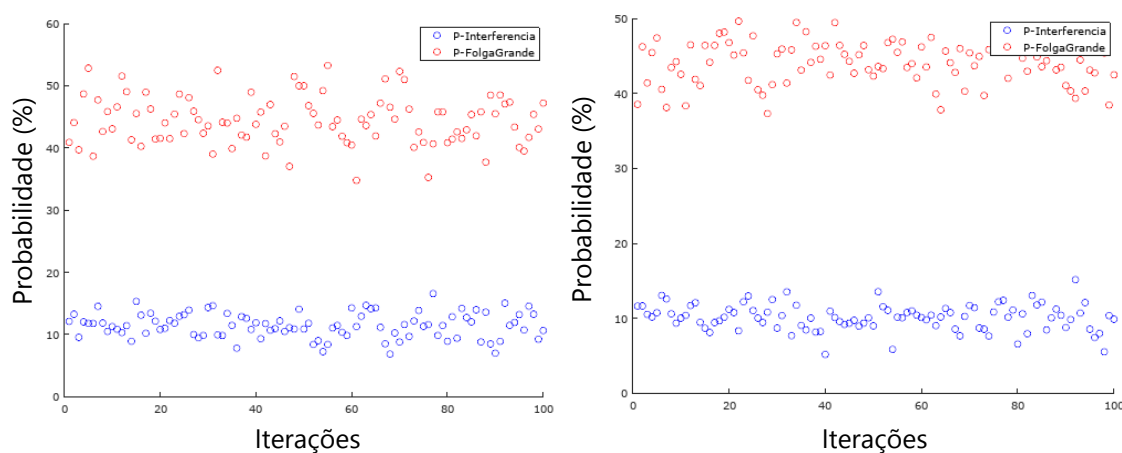


Figura 4.4 – Resultados. À esquerda com modelo da Figura 4.3 a); à direita com modelo da Figura 4.3 b).

Posto isto, definiu-se então a função de densidade de probabilidade (Figura 4.5), tendo em atenção que a área por debaixo do gráfico tem de ser igual a 1 (Eq. 4.5 e Eq. 4.6).

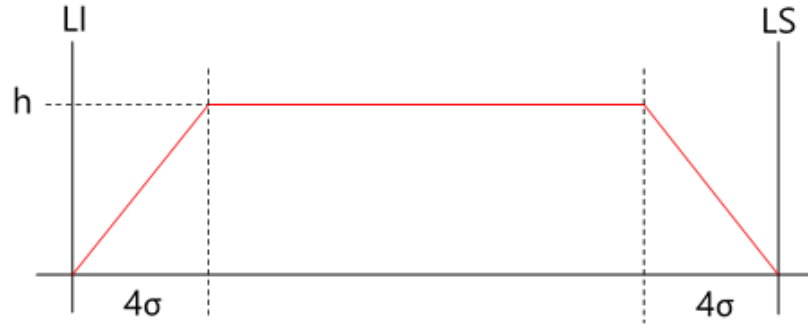


Figura 4.5 - Função de distribuição de probabilidades

$$(LS - LI - 4\sigma) * h = 1 \Leftrightarrow h = \frac{1}{LS - LI - 4\sigma} \quad (4.5)$$

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [LI; LS] \\ \frac{h}{4\sigma} * x - \frac{h * LI}{4\sigma}, & x \in [LI; LI + 4\sigma] \\ h, & x \in]LI + 4\sigma; LS - 4\sigma] \\ -\frac{h}{4\sigma} * x + \frac{h * LS}{4\sigma}, & x \in]LS - 4\sigma; LS] \end{cases} \quad (4.6)$$

De seguida pode-se então proceder à determinação da função de distribuição acumulada (Eq. 4.7 e Eq. 4.8).

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x < LI \\ \int_{LI}^x \frac{h}{4\sigma} * x - \frac{h * LI}{4\sigma} dx, & x \in [LI; LI + 4\sigma] \\ F(LI + 4\sigma) + \int_{LI+4\sigma}^x h dx, & x \in]LI + 4\sigma; LS - 4\sigma] \\ F(LS - 4\sigma) + \int_{LS-4\sigma}^x -\frac{h}{4\sigma} * x + \frac{h * LS}{4\sigma} dx, & x \in]LS - 4\sigma; LS] \\ 1, & x > LS \end{cases} \quad (4.7)$$

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \frac{h}{8\sigma} * x^2 - \frac{h * LI}{4\sigma} * x - \frac{h}{8\sigma} * LI^2 - \frac{h * LI^2}{4\sigma} \\ \frac{h}{8\sigma} * (LI + 4\sigma)^2 - \frac{h * LI}{4\sigma} * (LI + 4\sigma) - \frac{h}{8\sigma} * LI^2 - \frac{h * LI^2}{4\sigma} + h * x - h * (LI + 4\sigma) \\ \frac{h}{8\sigma} * (LI + 4\sigma)^2 - \frac{h * LI}{4\sigma} * (LI + 4\sigma) - \frac{h}{8\sigma} * LI^2 - \frac{h * LI^2}{4\sigma} + h * (LS - 4\sigma) - h * (LI + 4\sigma) \\ 1 & -\frac{h}{8\sigma} * x^2 + \frac{h * LS}{4\sigma} * x + \frac{h}{8\sigma} * (LS - 4\sigma)^2 - \frac{h * LS}{4\sigma} * (LS - 4\sigma) \end{cases} \quad (4.8)$$

Seguindo o método da inversão pode-se então agora, invertendo as expressões acima, obter os valores pseudo-aleatórios que se pretende.

4.2. O programa para simulação de montagens

O programa em *Octave* que simula diversas montagens divide-se principalmente entre duas fases: numa primeira fase o programa calcula a variação da folga total do conjunto tendo em conta a variação dos diversos componentes, sem ser sensível ao facto de ocorrerem cadeias com mais que uma folga; numa segunda fase, o programa analisa a cadeia de cotas e devolve a variação de cada uma das folgas individualmente, sob o pressuposto de as peças se deslocarem quando existe contacto entre elas, ou seja, o módulo da interferência (folga negativa) de uma folga é somado à folga seguinte (Figura 4.6).

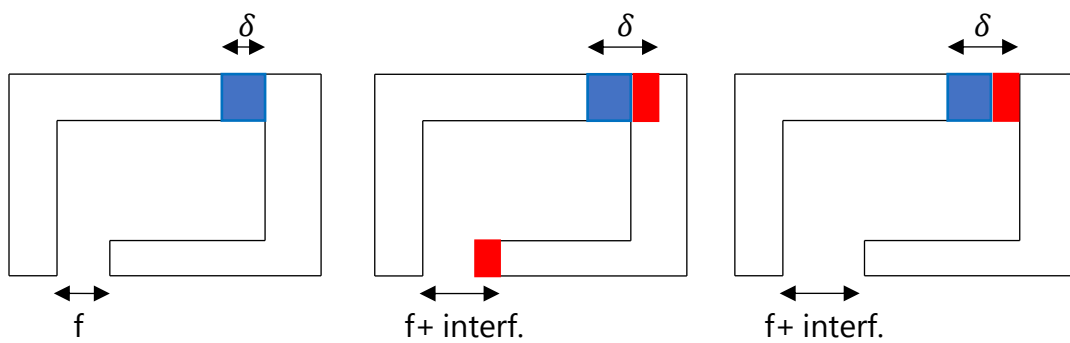


Figura 4.6 - Exemplificação do raciocínio da análise das folgas individualmente

Para a geração de cada folga estas foram consideradas como aproximadamente normais pois, como se verá adiante, a variação da folga total pode ser ajustada por uma curva normal (Figura 4.8 – canto inferior esquerdo). Assumiram-se os parâmetros destas

folgas como sendo os parâmetros da folga total divididos pelo número de folgas, tanto para a média como para o desvio padrão (Eqs. 4.9 a 4.13).

$$\mu_{ind.} = \frac{\mu_{total}}{N_{folgas}} \quad \sigma_{ind.} = \frac{\sigma_{total}}{N_{folgas}} \quad (4.9) \quad (4.10)$$

$$Var(f_{ind}) = \frac{1}{n^2} Var(f_{total}) \quad (4.11)$$

$$\sigma(f_{ind}) = \frac{1}{n} \sigma(f_{total}) \quad (4.12)$$

$$f_{total} = \sum f_{ind} \Rightarrow \begin{cases} \mu(f_{total}) = n * \mu(f_{ind}) \\ \sigma(f_{total}) = n * \sigma(f_{ind}) \end{cases} \quad (4.13)$$

As equações acima só são válidas se as folgas fossem independentes entre si, o que não se verifica, no entanto este é um pressuposto aceitável para a obtenção de resultados fidedignos.

Para proceder à simulação falta ainda definir o desvio padrão (sigma das expressões). Após pesquisa bibliográfica sobre este parâmetro não foram encontradas informações fidedignas, pelo que se analisaram os relatórios dimensionais de 2018 e 2019 (até abril) para duas cotas relativas, ou seja, cada uma delas diz respeito a dimensões dentro de um componente. Dessa análise retiraram-se então os desvios padrão e chegou-se à conclusão de que, em média, este parâmetro é aproximadamente 6.5% da tolerância da cota analisada (Tabela 4.3). Foi esta percentagem que foi usada na modelação das diferentes funções de densidade de probabilidade.

Tabela 4.3 - Desvio padrão de componentes

FMK	Direção	Mesa	Tolerância	Desvio padrão	%
6103.16	Z	1	0.6	0.034619	5.7698
6103.16	Z	2	0.6	0.039193	6.5322
6103.18	Z	1	0.6	0.043485	7.2475
6103.18	Z	2	0.6	0.039795	6.6325
Média					6.5455

Para definir o número de ciclos que o programa necessita de fazer, n, definiu-se um intervalo de confiança de 99%, $\alpha=0.99$.

Um intervalo de confiança é definido matematicamente como: (Eq. 4.14)

$$\mu \in \left] \bar{x} - z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} ; \bar{x} + z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right[\quad (4.14)$$

em que z é o valor da normal reduzida correspondente a $\alpha + \left(\frac{1-\alpha}{2}\right)$ (Figura 4.7) que, neste caso, toma o valor de 2.575.

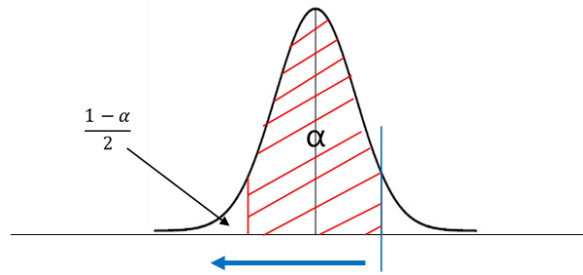


Figura 4.7 – Curva normal

A um intervalo de confiança de 99% corresponde uma amplitude do intervalo acima menor que $0.01\bar{x}$, ou seja (Eq. 4.15):

$$\begin{aligned} \bar{x} + z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} - \left(\bar{x} - z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) &< 0.01\bar{x} \Leftrightarrow \frac{2 * z * \sigma}{\sqrt{n}} < 0.01\bar{x} \Leftrightarrow \\ n &> \left(\frac{2 * z * \sigma}{0.01\bar{x}} \right)^2 \Leftrightarrow n > \left(\frac{2 * 2.575 * 0.1\bar{x}}{0.01\bar{x}} \right)^2 \Leftrightarrow n > 2652.25 \Leftrightarrow n = 2653 \end{aligned} \quad (4.15)$$

Como se pode ver pela equação acima, os ciclos serão corridos 2653 vezes de maneira a garantir o intervalo de confiança. No entanto um dos ciclos (o ciclo mais abrangente que basicamente repete o programa e retorna várias probabilidades) foi só feito 10 vezes. Na maioria das situações, as probabilidades são estáveis, como se poderá ver mais à frente, e não se verificou a necessidade de sobrecarregar o programa com ciclos desnecessários que iriam tornar a tempo de processamento demasiado prolongado. Foi feita uma análise do desvio padrão das probabilidades em que se constatou que o maior valor é cerca de 1.3. Sendo a escala de 0% a 100%, este valor é bastante reduzido e corrobora o exposto acima.

4.3. Fase 1 – Estimação do valor das folgas

O programa começa por ler os dados do ficheiro *Excel* onde se encontram as diversas dimensões, tolerâncias e sentidos da cadeia de cotas em análise. De seguida gera as cotas pseudo-aleatórias de acordo com a função de distribuição de probabilidades já mencionada que também foi modelada no programa n vezes, sendo n o número de ciclos calculado acima. Geradas as diferentes cotas está-se então em condições de calcular as n folgas correspondentes às n cadeias de cotas já construídas. Neste momento tem-se então um vetor com n folgas. O próximo passo é contar o número de ocorrências de folgas negativas (interferência) ou folgas demasiado grandes (maiores que 0.5). Com isto está-se então em condições para calcular as probabilidades de interferência e de folga demasiado grande. Este ciclo é então repetido k vezes, sendo k igual a 10, como foi explicado acima. Nesta altura são também construídos os histogramas onde se vê o comportamento das folgas e calculadas as probabilidades médias. Na Figura 4.8 podemos ver um exemplo dos gráficos obtidos, em que no canto superior esquerdo se encontra a variação das folgas negativas (interferências), no canto superior direito encontra-se a variação das folgas maiores que 0.5 mm (folgas demasiado grandes), no canto inferior esquerdo encontra-se a variação total da folga e no canto inferior direito encontram-se os valores de probabilidades de ocorrência de folgas NOK (fora do especificado).

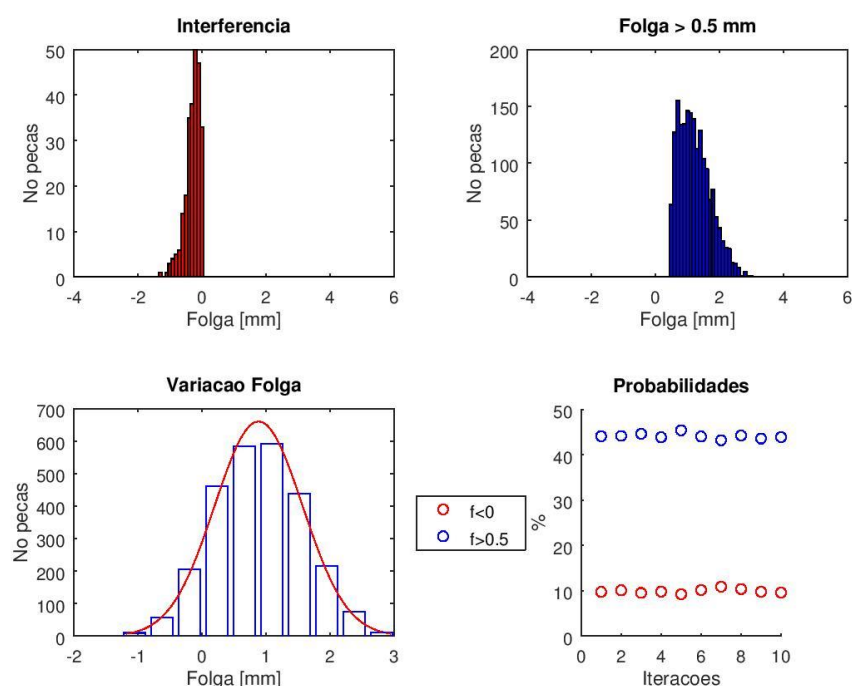


Figura 4.8 - Exemplo do gráfico obtido no programa

4.4. Fase 2 – Análise das folgas e determinação da influência de cada cota

Estando esta primeira fase concluída pode-se então passar à seguinte, a análise folga a folga, individualmente. O raciocínio por detrás desta fase já foi explicado acima sendo que, basicamente, o que acontece é que o programa gera a primeira folga da cadeia utilizando uma distribuição normal com os parâmetros explicados acima e, se essa folga não for única, o programa gera a próxima com a mesma distribuição normal mas, desta vez, tendo em atenção que, se a folga anterior for negativa (interferência), o módulo dessa folga é somado ao valor da folga gerado pela normal, tendo por base o raciocínio já explicado. Esta geração é repetida n vezes e, estando geradas todas as folgas das n cadeias de cotas são construídos então os histogramas correspondentes e calculada a média de cada folga.

Por último é calculada uma percentagem de influência média que cada cota tem na variação da folga, percentagem essa que é obtida fazendo variar apenas uma das cotas de cada vez, mantendo as restantes no valor nominal. Com isto pode-se ter um noção da influência dessa cota que se variou na folga total.

Um fluxograma que explica sistematiza aquilo que foi apresentado nos últimos parágrafos pode-se ver na Figura 4.9, enquanto que um fluxograma mais pormenorizado encontra-se no Apêndice 3.

O programa principal e os programas auxiliares podem ser consultados no Apêndice 4.

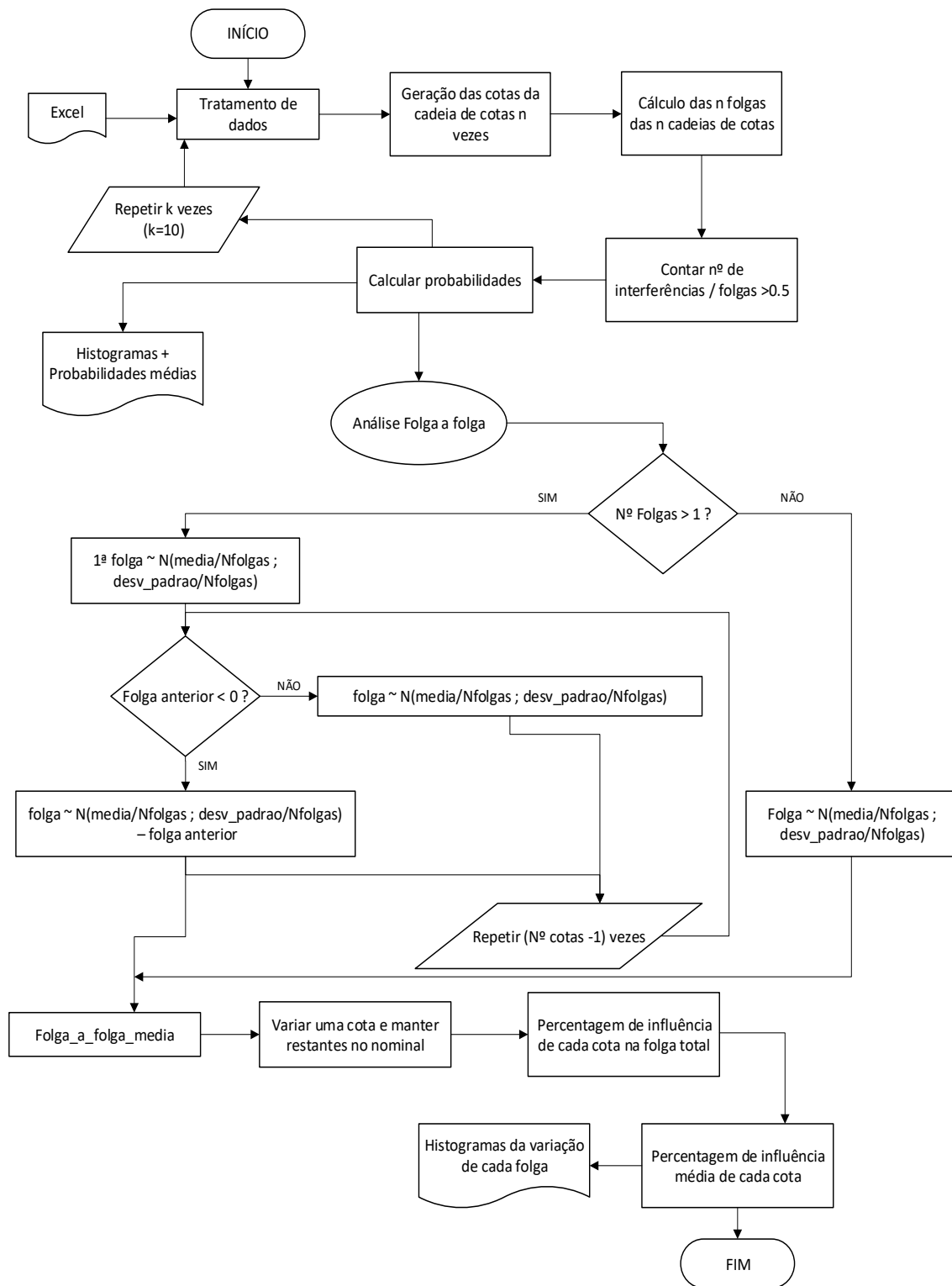


Figura 4.9 - Fluxograma de funcionamento do programa

4.5. Análise de resultados

Correndo a rotina “all_fm.k.m”, no Apêndice 4, são gerados e guardados gráficos semelhantes aos da Figura 4.10 e da Figura 4.11 e é escrito um documento .txt com as informações dos valores das probabilidades, as folgas médias e a percentagem de influência de cada cota, para cada cadeia de cotas (Apêndice 6).

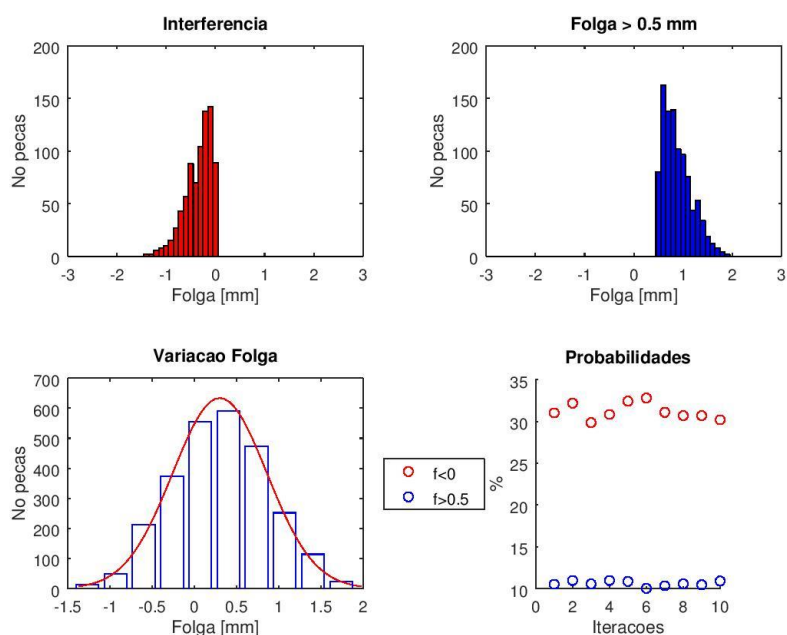


Figura 4.10 - Variação da folga e probabilidades de PNTAZ

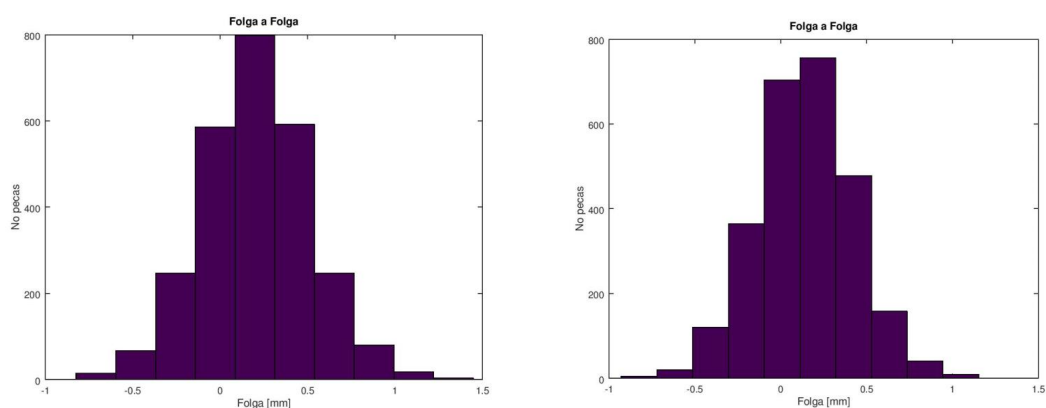


Figura 4.11 - Variação de cada folga de PNTAZ (individualmente)

Os gráficos dos restantes pontos encontram-se no Apêndice 6.

Analisando os resultados obtidos e comparando-os com o que acontece em chão de fábrica chega-se à conclusão que os resultados obtidos nesta dissertação vão de encontro às dificuldades sentidas, pois já se admitia com base empírica que as folgas entre componentes durante a sua montagem na ferramenta de soldadura variam mais do que o especificado, havendo extremos de montagem com interferência e de montagem com uma folga demasiado grande, tal como é mostrado pelos histogramas obtidos. Como já foi dito atrás, seria bastante interessante ter uma noção da frequência com que estes casos extremos acontecem para validar ainda mais os resultados mas tal não se mostrou viável pois, por um lado, para serem dados fidedignos, seria necessário um grande período de análise e, por outro, os diversos componentes não são sempre montados pelo mesmo operador, faltando assim repetibilidade à análise, ao mesmo tempo que com tempos de ciclo apertados, em que cada segundo conta, não existe tempo para fazer o registo.

É justificável que com as tolerâncias de componentes especificadas se verifica uma dificuldade em garantir que o conjunto esteja dentro de tolerância.

Posto isto conclui-se então que com o toleranciamento do projeto tal como está não é possível garantir o cumprimento das especificações da montagem. Esta variação das folgas faz com que aconteçam distorções com resultados imprevisíveis na peça final depois de soldada, fruto das tensões acumuladas, particularmente, quando há interferência.

Na Tabela 4.4 pode-se ver um resumo das probabilidades médias de interferência ou de a folga ser maior que 0.5mm para cada cadeia de cotas, bem como a soma das duas, ou seja, de a folga estar fora dos limites desejados, NOK. Analisando essa mesma tabela chega-se à conclusão que cerca de 20% das cadeias de cotas têm uma probabilidade de interferência superior a 50%, cerca de 12% das cadeias de cotas têm uma probabilidade de a folga ser superior ao indicado maior que 50% e que 50% das cadeias de cotas têm uma probabilidade de a folga ser NOK maior que 50%. Se se baixar esse limite para 40%, por exemplo, a percentagem de cadeias de cotas nessa situação sobe para uns impressionantes 73%.

Posteriormente analisaram-se juntas em termos de vários parâmetros, como o tipo de junta, as tolerâncias dos perfis dessa junta e a percentagem de influência das cotas limítrofes a essa junta. O resultado desta análise encontra-se na Tabela 4.5 e a localização das juntas analisadas na Figura 4.12.

Tabela 4.4 - Probabilidades estudadas

<i>Cadeia de cotas</i>	<i>Prob. Interferência (%)</i>	<i>Prob. Folga>0.5 (%)</i>	<i>Prob. NOK (%)</i>
<i>PNTAY</i>	10.7	44.2	54.9
<i>PNTAZ</i>	30.7	11.3	42
<i>PNTAX</i>	27.4	14.9	42.3
<i>PNTBZ</i>	98.1	0.1	98.2
<i>PNTBX</i>	5.3	38.9	44.2
<i>CDIRA</i>	17.4	17.4	34.8
<i>CDIRB</i>	50.1	0	50.1
<i>CDIRX</i>	49.1	0.3	49.4
<i>FESQZ</i>	0.2	88.7	88.9
<i>FESQX</i>	0	98.1	98.1
<i>FDIRZ</i>	8.6	18.3	26.9
<i>FDIRX</i>	25.9	33.5	59.4
<i>GLUVZ</i>	13.2	36.0	49.2
<i>GLUVX</i>	26.6	33.9	60.5
<i>SPDRY</i>	38.2	24.2	62.4
<i>SPDRZ</i>	18.3	8.7	27
<i>SPDRX</i>	25.8	32.7	58.5
<i>AIRBZ</i>	7.9	34.6	42.5
<i>AIRCZ</i>	15.3	18.9	34.2
<i>AIRCX</i>	0.1	74.6	74.7
<i>CENTY</i>	1.2	6.7	7.9
<i>CENTZ</i>	98.8	0	98.8
<i>CENTX</i>	73.1	0	73.1
<i>SPESY</i>	59.2	20.7	79.9
<i>SPESZ</i>	3.4	11.1	14.5
<i>SPESX</i>	15.3	0.3	15.6

Tabela 4.5 - Tabela de análise de juntas do módulo básico
(Legenda na Tabela 4.6 e localização das juntas na Figura 4.12)

<i>Junta</i>	<i>Gap Norma</i>	<i>Gap 3D</i>	<i>Ligação</i>	<i>Tolerância interface</i>	<i>Cadeia de cotas que influencia</i>	<i>% Influência (% média)</i>	<i>Prob. Interf.</i>	<i>Prob. Folga>0.5</i>
AY	0 – 0.5	0.58	|_ | |_ |	2 0.6	PNTAY	13.5% (14.3%) 13.1% (14.3%)	10.7%	44.2%
BY	0 – 0.5	0	\ \ |	0.6 0.6 (U)	PNTAY	13.1% (14.3%) 20.1% (14.3%)	10.7%	44.2%
BZ	0 – 0.5	0	\ \ |	Geral	PNTAZ	6.16% (12.5%) 11.1% (12.5%)	30.7%	11.3%
BX	0 – 0.5	0	|_ | |_ |	Geral 0.6 (U)	PNTAX	12.8% (12.5%) 26.9% (12.5%)	27.4%	14.9%
CZ	0 – 0.5	0.14	) )	0.6 (U) 0.6	PNTAZ	11.1% (12.5%) 3.7% (12.5%)	30.7%	11.3%
CX	0 – 0.5	0	) )	0.6 (U) 0.6	PNTAX	26.9% (12.5%) 8.2% (12.5%)	27.4%	14.9%
DZ	0 – 0.5	0.07	) )	0.6 (U) 1	PNTBZ	33.1% (20%) 6% (20%)	98.1%	0.1%
DX	0 – 0.5	0	) )	0.6 (U) 1	PNTBX	9.8% (20%) 22.6% (20%)	5.3%	38.9%
EX	0 – 0.5	0	|_ | |_ |	0.6 0.6	PNTBX	22.6% (20%) 22.6% (20%)	5.3%	38.9%
FY	0 – 0.5	0	|_ | |_ |	0.3 (U) 0.07	CDIRA	58.5% (33%) 5.9% (33%)	17.4%	17.4%
GY	0 – 0.5	0	|_ | |_ |	0.8 (U) ---	CDIRB	14% (10%) 14.6% (10%)	50.1%	0%
HY	0 – 0.5	0	|_ | |_ |	---	CDIRB	7.2% (10%) 7.2% (10%)	50.1%	0%
IY	0 – 0.5	0	|_ | |_ |	---	CDIRB	7.2% (10%) 7.2% (10%)	50.1%	0%
JY	0 – 0.5	0	|_ | |_ |	---	CDIRB	14.6% (10%) 14.2% (10%)	50.1%	0%
KX	0 – 0.5	0	) )	1 0.6	CDIRX	12.8% (14.3%) 15.4% (14.3%)	49.1%	0.3%
LX	0 – 0.5	0	) )	1 0.6	CDIRX	15.2% (14.3%) 12.7% (14.3%)	49.1%	0.3%
MZ	0 – 0.5	0.64	) )	0.6 (U) 0.6	FESQZ	32.9% (25%) 22.7% (25%)	0.2%	88.7%
MX	0 – 0.5	1	) )	0.6 (U) 0.6	FESQX	30.8% (25%) 23.3% (25%)	0	98.1%
NZ1	0 – 0.5	0	) )	0.6 (U) 0.6	FDIRZ	29.5% (20%) 30.3% (20%)	8.6%	18.3%
NZ2	0 – 0.5	0	) )	0.6 (U) 0.6	FDIRZ	30.3% (20%) 16.5% (20%)	8.6%	18.3%
NX	0 – 0.5	0	) )	0.6 (U) 0.6	FDIRX	41.9% (25%) 10% (25%)	25.9%	33.5%
OZ	0 – 0.5	0	) )	0.6 (U) 0.6	GLUVZ	51.8% (25%) 10.5% (25%)	13.2%	36%
OX	0 – 0.5	0	) )	0.6 (U) 0.6	GLUVX	34.6% (20%) 11.9% (20%)	26.6%	33.9%

Tabela 4.6 – Legenda da Tabela 4.5

Ligação	Descrição	Exemplo
|_ | |_ |	Face plana com face plana	
\ \ |	Face inclinada com aresta	
|_ | |	Face plana com aresta	
))	Face curva concêntrica com face curva	

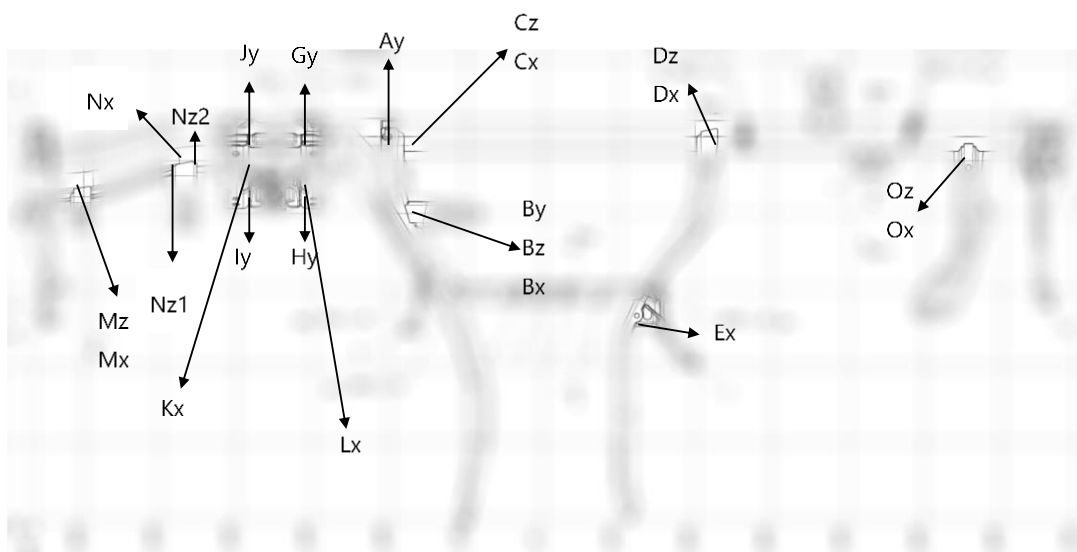


Figura 4.12 - Localização das juntas

Analisando a Tabela 4.5 sobressai uma relação entre as tolerâncias de perfil unidirecionais (tolerâncias com (U), a amarelo na Tabela 4.5) com as influências superiores à média (a vermelho). Na verdade, 77.8% das cotas com tolerância unidirecional têm uma percentagem de influência superior à média e 82.4% das cotas com percentagem de influência superior à média correspondem a cotas com tolerância unidirecional, no entanto, das três cotas em que isso não se verifica, duas são cotas sem a tolerância de interface e uma está ligada a uma cota seguinte que é unidirecional. Verifica-se também que 77% das juntas entre faces curvas concêntricas tem pelo menos uma das cotas com influência superior à média.

5. PROPOSTAS DE MELHORIA DE PROJETO

5.1. Introdução

No sentido de mitigar estas variações das folgas e consequentes distorções da peça final existem várias opções de projeto que se podem tomar. A mais óbvia seria alterar o toleranciamento do projeto, seja alargar as tolerâncias da montagem, uma vez que se constata que peças fora de tolerância dão montagem na mesma, o que leva a crer que o toleranciamento encontra-se demasiado apertado, seja apertar as tolerâncias dos componentes.

Para além desta hipótese de modificar o toleranciamento do projeto, existe outra opção que envolve mudanças na forma da peça em si por forma a diminuir possíveis fontes de variação, isto é, desacoplar o projeto. Com isto em mente foram propostas 10 melhorias de projeto.

5.2. Possíveis soluções alternativas de projeto

Um dos meios para diminuir fontes de variação é não soldar componentes em curvas, mas sim dar preferência a soldaduras sobrepostas. Variações neste tipo de junta afetam apenas uma direção, em vez de duas como quando a soldadura é feita num raio de curvatura. Para além disso, *lap joints*, como são chamadas as juntas sobrepostas, têm a capacidade de absorver variações segundo duas direções pois os componentes podem deslocar-se entre si, enquanto que *butt joints*, como são chamadas as juntas de topo, propagam variações, em vez de as absorver [17]. Um exemplo pode-se ver na Figura 5.1, onde se propõe que, em vez de a soldadura (a amarelo) ser efetuada na curvatura do tubo seja feita face com face (a verde) na zona superior do mesmo.

Analogamente ao caso anterior podem-se fazer as alterações da Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4 e Figura 5.5, em que, nas primeiras duas, alterando a geometria do tubo (de maneira a ficar com uma face plana) se pode obter um resultado semelhante – soldar os componentes face com face.

Na Figura 5.2 e na Figura 5.3 prolongou-se a peça inferior de maneira a criar uma zona plana (a verde) onde efetuar as soldaduras (a rosa), não havendo assim necessidade de soldar na curvatura à esquerda (‘x’ vermelho).

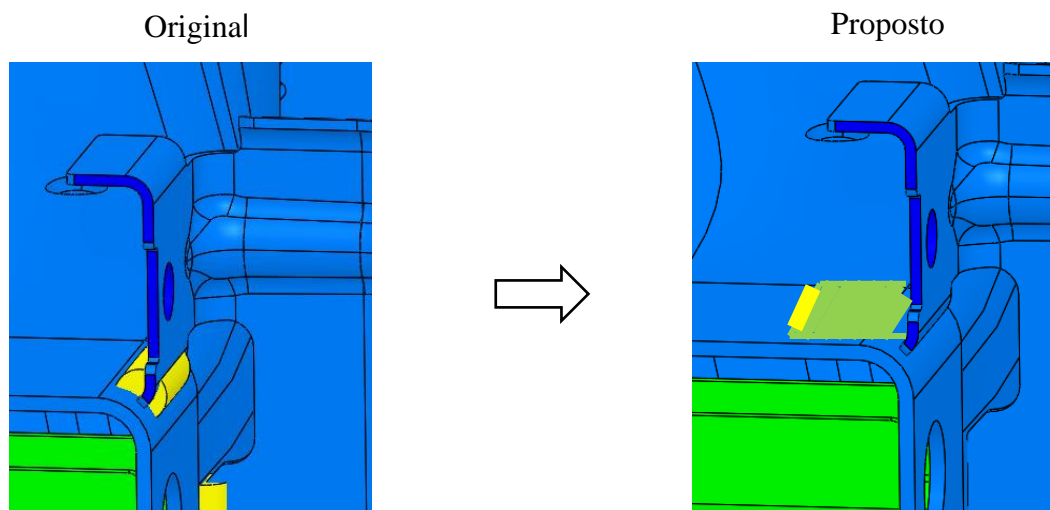


Figura 5.1 - Possível solução alternativa 1

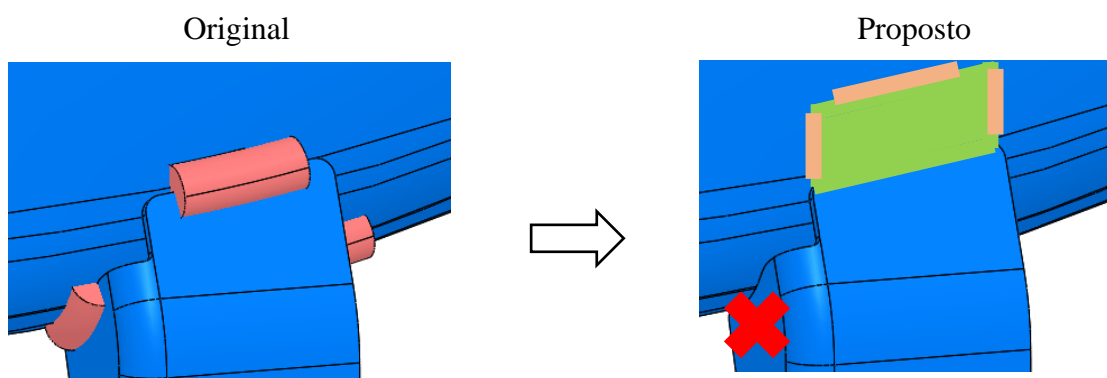


Figura 5.2 - Possível solução alternativa 2

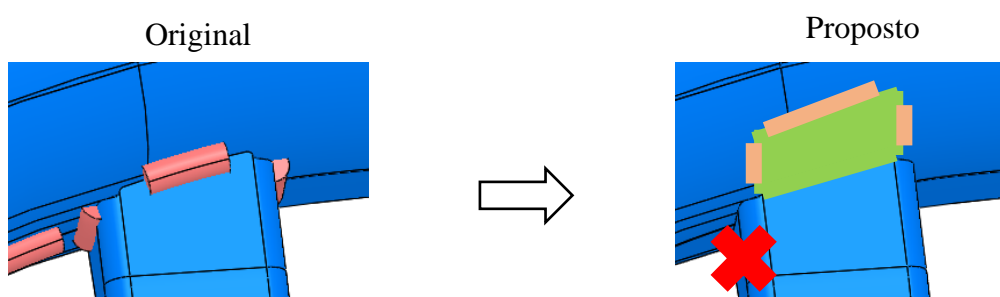


Figura 5.3 - Possível solução alternativa 3

Na Figura 5.4, analogamente aos casos anteriores, propõe-se a criação de uma face plana para efetuar as soldaduras (a verde), eliminando assim a necessidade da soldadura na curvatura na parte superior ('x' vermelho).

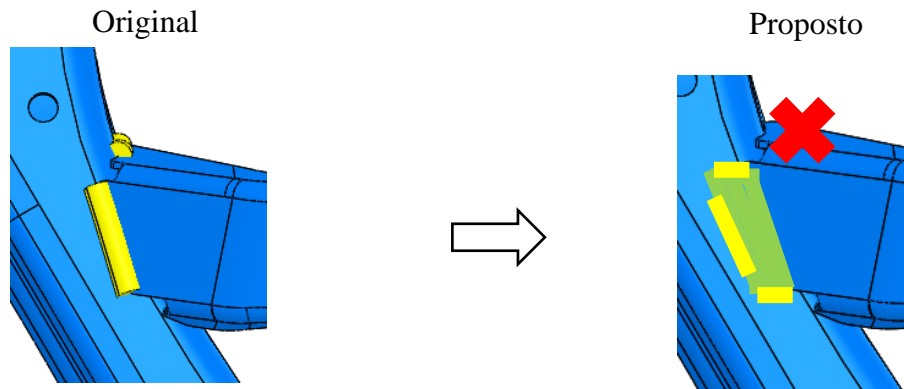


Figura 5.4 - Possível solução alternativa 4

Na Figura 5.5, apesar de a soldadura que se propõe que seja eliminada não seja numa curvatura, ao eliminar o apêndice na zona superior ('x' vermelho) elimina-se uma zona de possível contacto entre componentes. Para compensar a eliminação desta soldadura sugere-se a criação de uma zona plana onde se podem fazer mais soldaduras, à semelhança dos casos anteriores.

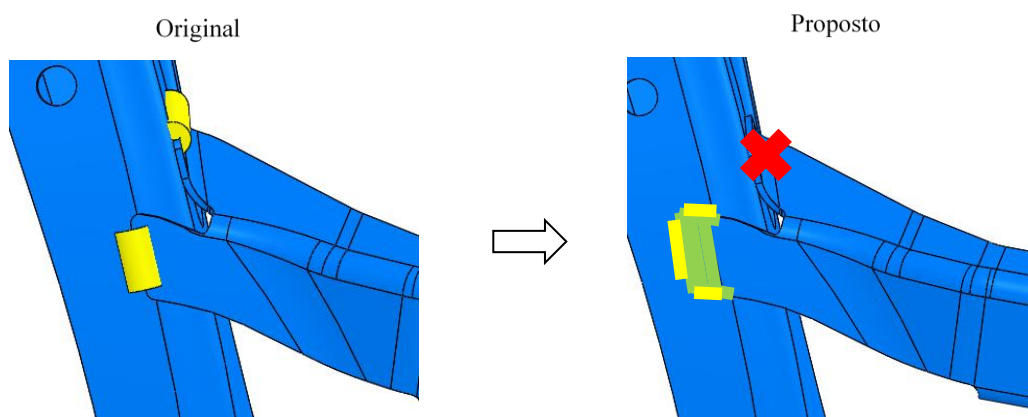


Figura 5.5 - Possível solução alternativa 5

Outra possibilidade de reduzir fontes de variação, como se viu no caso anterior, é reduzir o número de possíveis contactos entre componentes. Isso é visível nas sugestões de melhoria de design da Figura 5.6 e Figura 5.7.

Na Figura 5.6 reduziu-se a peça central de maneira a garantir a não interferência entre ela e as peças laterais. Isto impossibilita a soldadura nas zonas agora eliminadas, pelo que estudos sobre a resistência e deformação dos componentes teriam de ser feitos. Neste caso, como em todos os outros, as sugestões são feitas de uma maneira puramente empírica.

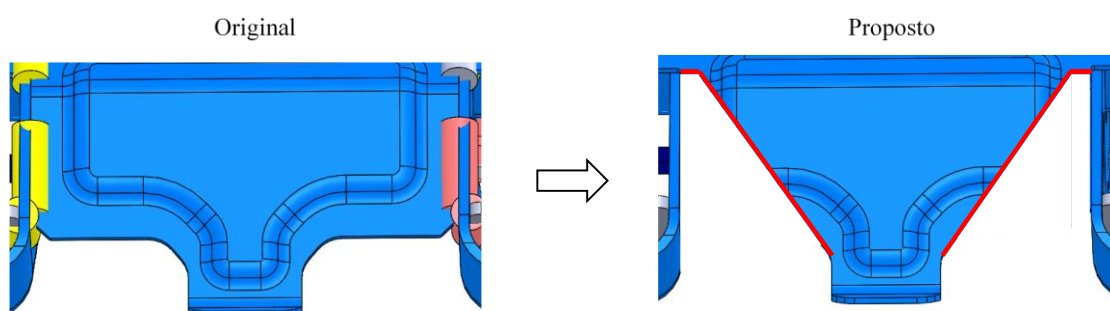


Figura 5.6 - Possível solução alternativa 6

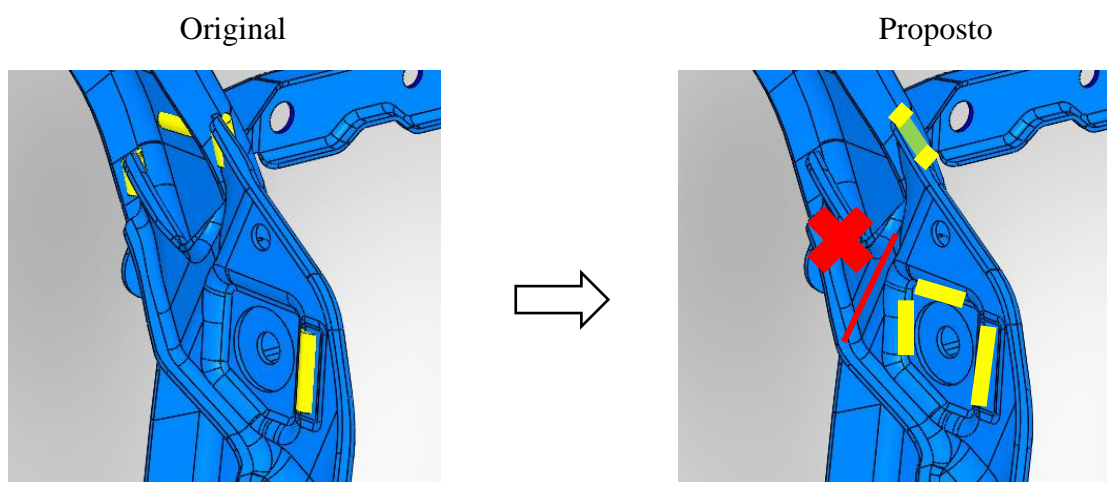


Figura 5.7 - Possível solução alternativa 7

Na Figura 5.7 propõe-se a eliminação da “zona traseira” da peça (‘x’ vermelho), de maneira a eliminar um possível ponto de interferência entre componentes. Para compensar uma possível fragilidade da montagem poderiam ser feitas mais soldaduras (a amarelo).

Outro meio de reduzir fontes de variação é diminuir o número de componentes. Com menos componentes existem menos soldaduras e menos folgas passíveis de variar demais. Na Figura 5.8, Figura 5.9 e Figura 5.10 podem-se ver sugestões de melhoria de projeto que se focam neste método.

Na Figura 5.8 sugere-se que, em vez da existência de dois tubos de diâmetros diferentes soldados, seria mais vantajoso a existência de um só com uma transição suave entre diâmetros (a verde).

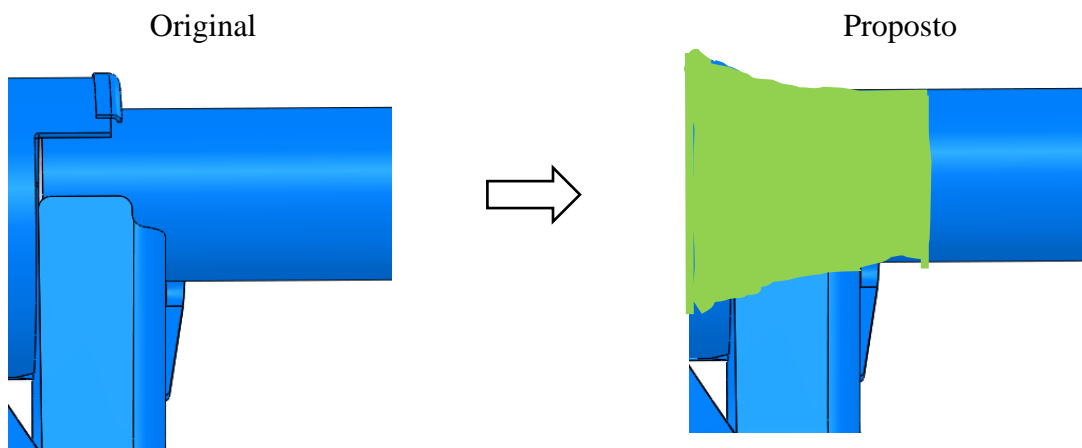


Figura 5.8 - Possível solução alternativa 8

No caso da Figura 5.9 os dois componentes são fabricados como um só, sendo que o L é posteriormente quinado, fazendo a mesma geometria obtida com os dois componentes originalmente.

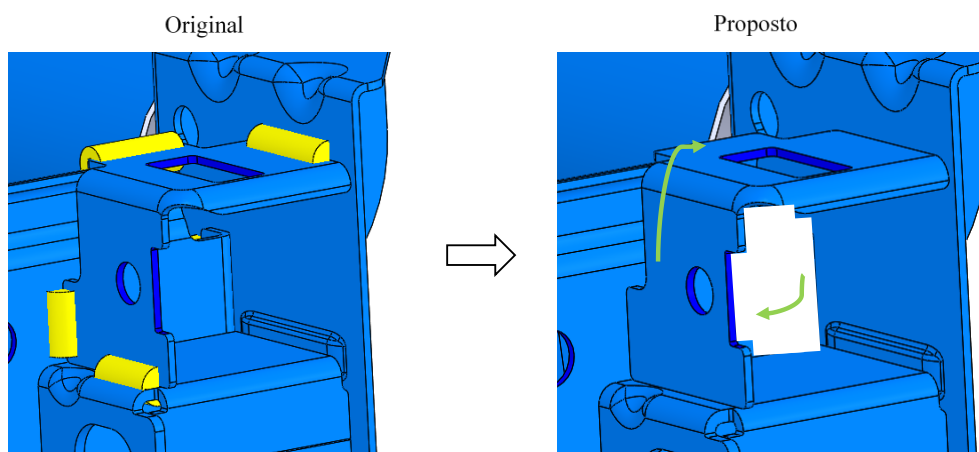


Figura 5.9 - Possível solução alternativa 6

No caso da Figura 5.10 eliminou-se um componente da cadeia de cotas soldando o suporte diretamente à travessa vertical, em vez a um reforço que, por sua vez, também é soldado à travessa.

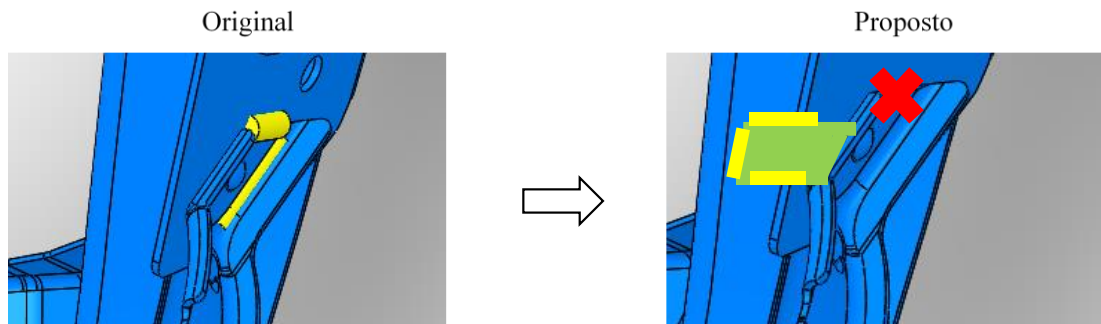


Figura 5.10 - Possível solução alternativa 10

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Nesta dissertação foi levada a cabo uma análise de tolerâncias de um projeto de um produto da indústria automóvel. Para isso foram analisados os desenhos técnicos dos componentes e da montagem, construídas cadeias de cotas e convertidas as tolerâncias geométricas em dimensionais equivalentes. Posteriormente foi desenvolvido um algoritmo de simulação Monte-Carlo de maneira a simular diversas montagens e analisar as variações das folgas entre componentes, parâmetro importante para a qualidade geométrica da peça final. Desta análise concluiu-se que uma percentagem significativa das folgas variam mais que o desejado, corroborando o sentido na produção. Foi também obtida a percentagem de influência que cada cota tem na variação das folgas.

Desta dissertação conclui-se então que com esta combinação de tolerâncias de componentes e de montagem é difícil, se não impossível, cumprir de uma forma contínua as especificações exigidas pelo cliente. Ao analisar os desenhos sente-se uma desconexão entre as tolerâncias dos componentes e do conjunto, o que pode ser devido a não ter sido feita a necessária análise de tolerâncias da montagem.

Fruto desta dissertação, para além do objetivo cumprido de investigar e documentar a dificuldade do cumprimento das especificações do projeto em estudo, foi também escrito um artigo científico. Neste artigo é mostrada a potencialidade deste método expedito de levar a cabo uma análise de tolerâncias para estudar a variação das folgas entre componentes num *jig* de soldadura, folgas essas que são um parâmetro determinante na qualidade geométrica da peça final e da própria soldadura. Isto é crítico na indústria automóvel e pode levar a custos desnecessários durante a produção e possíveis custos de não qualidade das peças fornecidas ao cliente.

Por causa disso, e não só, deve-se levar a cabo uma análise de tolerâncias na fase de projeto, onde os custos de alterações são mínimos. É evidente que isto não é feito em muitos casos, principalmente por ser bastante trabalhoso e demorado. Sente-se que as tolerâncias dos componentes são pré-definidas, talvez por uma questão de custos. Se assim for seria necessário alocar tolerâncias de conjunto factíveis, e não também tolerâncias pré-definidas desligadas das tolerâncias dos componentes.

Outra via de reduzir problemas durante a produção é reduzir fontes de variação, ou seja, tornar o projeto mais próximo de ser desacoplado. A maneira mais simples de atingir isto é simplificar certas geometrias complexas, como soldar componentes em raios de

curvatura. Uma variação da folga nesta soldadura afeta duas direções, enquanto que uma variação da folga numa soldadura numa face plana apenas afeta uma.

Futuros trabalhos podem focar-se nos efeitos que as mudanças de geometrias podem ter nos custos, variação de folgas e qualidade geométrica final da peça. Seria também interessante, partindo de uma análise das peças que, estando fora de especificação são aceites pelo cliente, fazer, a partir dos dados obtidos, um estudo da possibilidade do ajuste dessas mesmas especificações de maneira a corrigir as inconsistências que existem entre as tolerâncias existentes e as realmente necessárias para garantir a montagem. Um estudo sobre a aplicação da Engenharia Simultânea na indústria automóvel seria também interessante, na medida em que se o projeto e as suas especificações fossem ajustados de acordo com o *feedback* dado pela produção, muitos dos problemas sentidos poderiam ser mitigados.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] A. J. F. Mourão, “Introdução à Engenharia Simultânea e ao Projecto para Fabrico e Montagem,” - Elementos Didáticos, FCT-UNL, 1999.
- [2] VW, “Reference Point System - RPS.” 1996.
- [3] VW, “VW 01106-1 standard.” 2014.
- [4] S. Moos and E. Vezzetti, “Compliant assembly tolerance analysis: Guidelines to formalize the resistance spot welding plasticity effects,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 61, no. 5–8, pp. 503–518, 2012.
- [5] D. Deng, H. Murakawa, and W. Liang, “Numerical simulation of welding distortion in large structures,” *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, vol. 196, no. 45–48, pp. 4613–4627, 2007.
- [6] A. J. F. Mourão, “Dimensionamento funcional e tecnológico,” - Elementos Didáticos, FCT-UNL, 2004.
- [7] B. Schleich and S. Wartzack, “A Quantitative Comparison of Tolerance Analysis Approaches for Rigid Mechanical Assemblies,” *Procedia CIRP*, vol. 43, pp. 172–177, 2016.
- [8] H. Yan, X. Wu, and J. Yang, “Application of Monte Carlo method in tolerance analysis,” *Procedia CIRP*, vol. 27, pp. 281–285, 2015.
- [9] S. Ramnath, P. Haghighi, A. Chitale, J. K. Davidson, and J. J. Shah, “Comparative study of tolerance analysis methods applied to a complex assembly,” *Procedia CIRP*, vol. 75, pp. 208–213, 2018.
- [10] G. Ameta, J. K. Davidson, and J. J. Shah, “Statistical tolerance analysis with T-maps for assemblies,” *Procedia CIRP*, vol. 75, pp. 220–225, 2018.
- [11] W. Zeng, Y. Rao, P. Wang, and W. Yi, “A solution of worst-case tolerance analysis for partial parallel chains based on the Unified Jacobian-Torsor model,” *Precis. Eng.*, vol. 47, pp. 276–291, 2017.
- [12] Dietrich and Schulze, *Guidelines for the Evaluation of Measurement Systems and Processes, Acceptance of Production Facilities*. 1998.

- [13] C. Rausch, M. Nahangi, C. Haas, and W. Liang, “Monte Carlo simulation for tolerance analysis in prefabrication and offsite construction,” *Autom. Constr.*, vol. 103, no. March, pp. 300–314, 2019.
- [14] Z. L. Pereira and J. G. Requeijo, *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico do Processo*, FCT-UNL, 2008.
- [15] “Six Sigma DPMO to Sigma to Cpk Chart Six Sigma - mandegar.info.” [Online]. Available:
<http://mandegar.info/?l=Six+Sigma+DPMO+to+Sigma+to+Cpk+Chart++Six+Sigma>. [Accessed: 24-Jul-2019].
- [16] R. Costa, “Brochura Investigação Operacional,” pp. 207–220 - Elementos Didáticos, FCT-UNL, 1994.
- [17] G. Chen, J. Zhou, W. Cai, X. Lai, Z. Lin, and R. Menassa, “A framework for an automotive body assembly process design system,” *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 38, no. 5, pp. 531–539, 2006.

8. APÊNDICE 1

Neste apêndice serão apresentadas as cadeias de cotas e as tabelas de análise das mesmas que seguem a nomenclatura da tabela presente na lista de abreviaturas no início desta dissertação. Todas as dimensões e tolerâncias dos próximos apêndices encontram-se em mm.

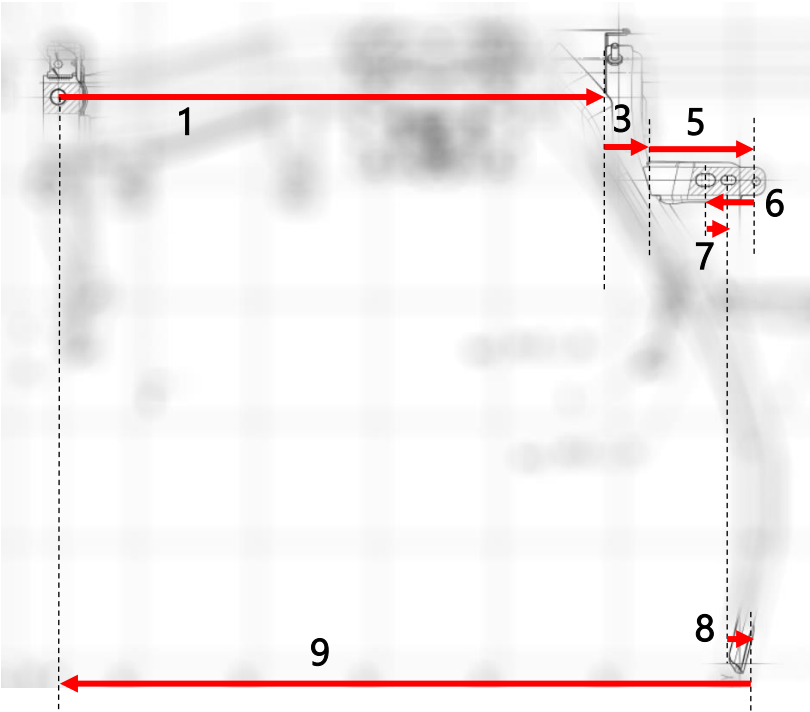


Figura 8.2 - Cadeia de cotas de PNTAY

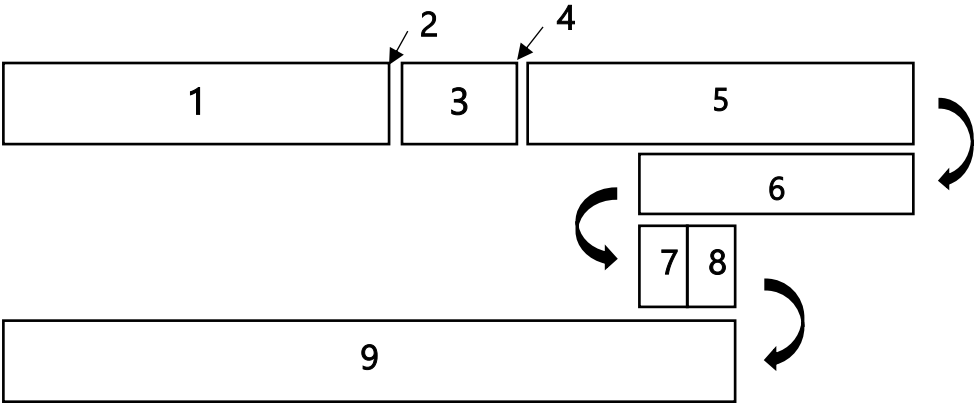


Figura 8.1 - Esquema em blocos da cadeia de cotas de PNTAY

Tabela 8.1 - Dimensões nominais e tolerâncias de cada cota (PNTAY)

#	De A		Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância		Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Borda tubo ROHR	+	452,97	1,125	-1,125	2,25	5,0625	454,095	451,845	451,845	454,095	452,97
3	Topo tunel	Zona do suporte	+	34,53	0,6	-0,6	1,2	1,44	35,13	33,93	33,93	35,13	34,53
5	Borda suporte	Referência B	+	89,61	0,125	-0,725	0,85	0,7225	89,735	88,885	88,885	89,735	89,31
6	Referência B	Furo esq. suporte (m)	-	42	0,275	-0,275	0,55	0,3025	42,275	41,725	42,275	41,725	42
7	Furo esq. suporte (m)	Furo dir. suporte (m1)	+	19	0,3	-0,3	0,6	0,36	19,3	18,7	18,7	19,3	19
8	Furo dir. suporte (m1)	PNT_A (a)	+	13,82	0,125	-0,125	0,25	0,0625	13,945	13,695	13,695	13,945	13,82
9	PNT_A (a)	RPS_001	-	568,52	0,6	-0,6	1,2	1,44	569,12	567,92	569,12	567,92	568,52

Tabela 8.2 - Folgas da cadeia de cotas (PNTAY)

#	De A		Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
2	Borda tubo ROHR	Topo tunel	+	0,295	3,450	2,170	-1,280	0,445	1,532	1,211	-0,321	0,295	1,532	1,061	-0,471
4	Zona do suporte	Borda suporte	+	0,295	3,450	2,170	-1,280	0,445	1,532	1,211	-0,321	0,295	1,532	1,061	-0,471
TOTAL				0,590	6,900	4,340	-2,560	0,890	3,064	2,422	-0,642	0,590	3,064	2,122	-0,942
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,580	1,532	1,346	-0,952								
				0,000	1,532	0,766	-1,532								

○ PNTAZ

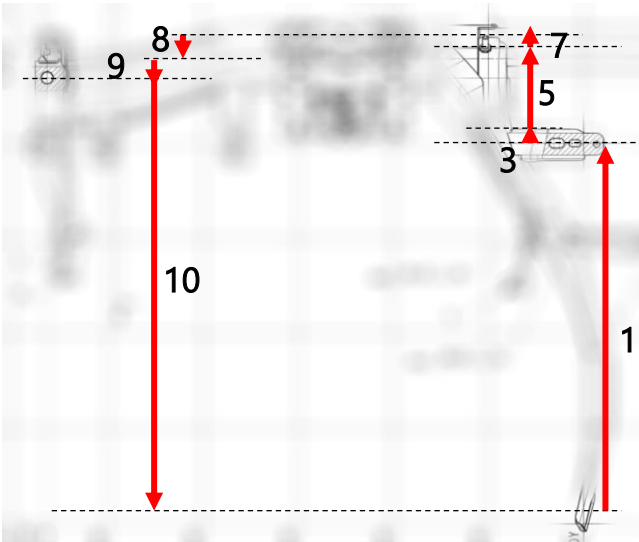


Figura 8.4 - Cadeia de cotas de PNTAZ

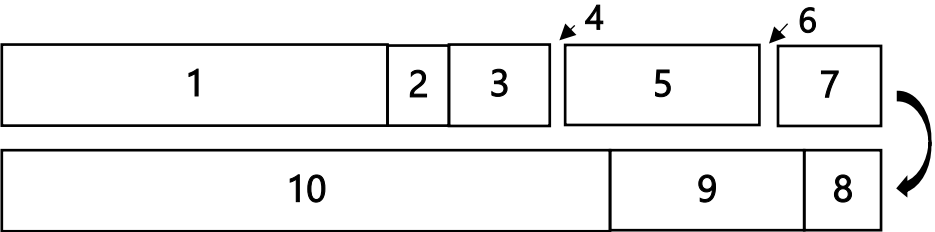


Figura 8.3 - Esquema em blocos da cadeia PNTAZ

Tabela 8.3 - Dimensões nominais e tolerâncias de cada cota (PNTAZ)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	PNT_A	Furo esq. Suporte (m)	+	389,5	1,4	0,6	0,8	0,64	390,9	390,1	390,1	390,9	390,5
2	Furo esq. suporte (m)	Furo dir. suporte (m1)	+	0	0,05	-0,05	0,1	0,01	0,05	-0,05	-0,05	0,05	0
3	Furo dir. suporte (m1)	Borda "contacto"	+	13,57	0,5	-0,5	1	1	14,07	13,07	13,07	14,07	13,57
5	Zona suporte	Centro "recorte"	+	87,57	0	-0,6	0,6	0,36	87,57	86,97	86,97	87,57	87,27
7	Centro tubo peq.	Ponto contacto chapa	+	19,86	0,3	-0,3	0,6	0,36	20,16	19,56	19,56	20,16	19,86
8	Ponto contacto chapa	Centro tubo gr.	-	32,03	0,4	-0,4	0,8	0,64	32,43	31,63	32,43	31,63	32,03
9	Centro tubo gr.	RPS_001	-	20,22	0,125	-0,125	0,25	0,0625	20,345	20,095	20,345	20,095	20,22
10	RPS_001	PNT_A	-	458,25	1,875	0,125	1,75	3,0625	460,125	458,375	460,125	458,375	459,25

Tabela 8.4 - Folgas da cadeia de cotas (PNTAZ)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
4	Borda "contacto"	Zona suporte	+	0,000	2,075	1,625	-0,450	0,150	1,238	0,769	-0,469	0,000	1,238	0,619	-0,619
6	Centro "recorte"	Centro tubo peq.	+	0,000	2,075	1,625	-0,450	0,150	1,238	0,769	-0,469	0,000	1,238	0,619	-0,619
TOTAL				0	4,15	3,25	-0,9	0,3	2,477	1,538	-0,938	0	2,477	1,238	-1,238
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	1,238	0,619	-1,238								
				0,140	1,238	0,759	-1,098								

○ PNTAX



Figura 8.6 - Cadeia de cotas de PNTAX

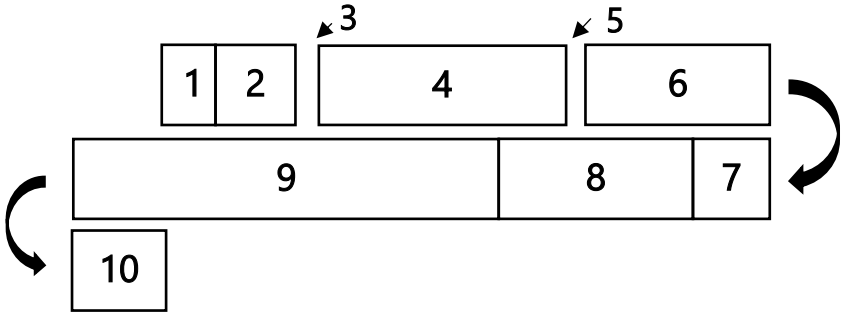


Figura 8.5 - Esquema em blocos da cadeia PNTAX

Tabela 8.5 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (PNTAX)

#	DeA		Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	Furo suporte esq. (m)	Furo suporte dir. (m1)	+	0	0,3	-0,3	0,6	0,36	0,3	-0,3	-0,3	0,3	0
2	Furo suporte dir. (m1)	Borda suporte	+	24,98	0,5	-0,5	1	1	25,48	24,48	24,48	25,48	24,98
4	Zona suporte	Centro "recorte"	+	100,07	0	-0,6	0,6	0,36	100,07	99,47	99,47	100,07	99,77
6	Centro tubo peq.	Contacto chapa	+	20,01	0,3	-0,3	0,6	0,36	20,31	19,71	19,71	20,31	20,01
7	Contacto chapa	Centro tubo gr.	-	14,31	0,2	-0,2	0,4	0,16	14,51	14,11	14,51	14,11	14,31
8	Centro tubo gr.	RPS_001	-	21,32	0,3	-0,3	0,6	0,36	21,62	21,02	21,62	21,02	21,32
9	RPS_001	PNT_A	-	116,13	1	-1	2	4	117,13	115,13	117,13	115,13	116,13
10	PNT_A	Furo suporte esq. (m)	+	6,63	0,125	-0,125	0,25	0,0625	6,755	6,505	6,505	6,755	6,63

Tabela 8.6 - Folgas da cadeia de cotas (PNTAX)

#	DeA		Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Borda suporte	Zona do suporte	+	0,035	3,025	1,697	-1,328	0,185	1,285	0,827	-0,457	0,035	1,291	0,680	-0,610
5	Centro "recorte"	Centro tubo peq.	+	0,035	3,025	1,697	-1,328	0,185	1,285	0,827	-0,457	0,035	1,291	0,680	-0,610
TOTAL				0,070	6,050	3,395	-2,655	0,370	2,569	1,655	-0,915	0,070	2,581	1,361	-1,221
Estatístico (Nominal CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	1,291	0,645	-0,645								
				0,000	1,291	0,645	-0,645								

○ PNTBY

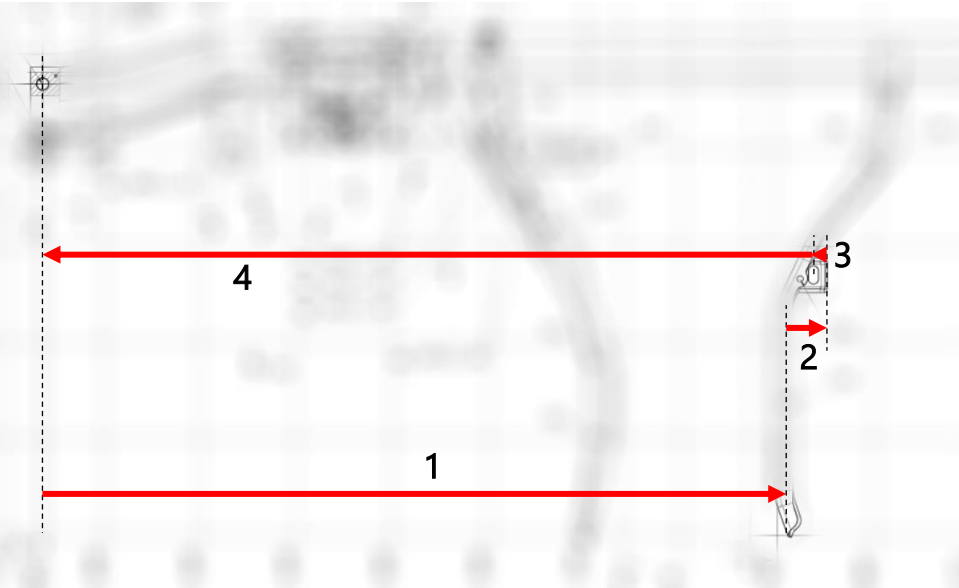


Figura 8.8 - Cadeia de cotas de PNTBY

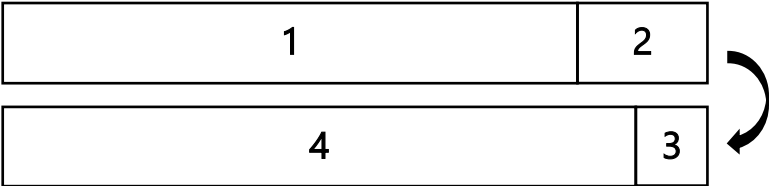


Figura 8.7 - Esquema em bolcos da cadeia PNTBY

Tabela 8.7 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (PNTBY)

#	De		A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Cota Média
						Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	PNT_B		+	770,89	0,475	-0,475	0,95	0,9025	771,365	770,415	770,415	771,365	770,89
2	PNT_B	Furo Suporte XZ (o)		+	30,57	0,1	-0,1	0,2	0,04	30,67	30,47	30,47	30,67	30,57
3	Furo Suporte XZ (o)	Furo Suporte YZ (o1)		-	10,57	0,075	-0,075	0,15	0,0225	10,645	10,495	10,645	10,495	10,57
4	Furo Suporte YZ (o1)	RPS_001		-	813,53	0,9	-0,9	1,8	3,24	814,43	812,63	814,43	812,63	813,53

○ PNTBZ

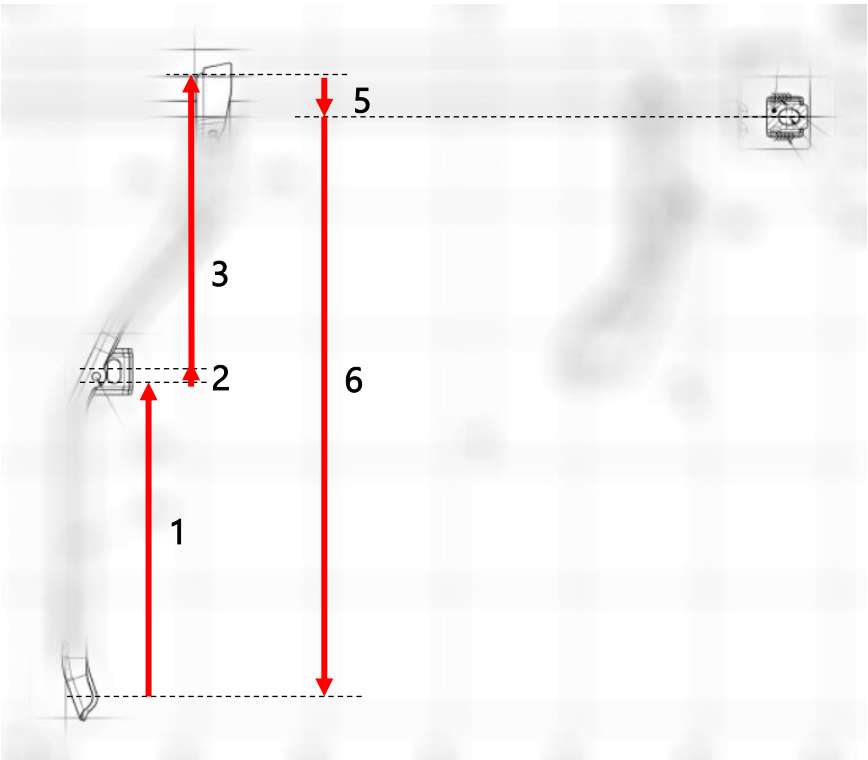


Figura 8.10 - Cadeia de cotas de PNTBZ

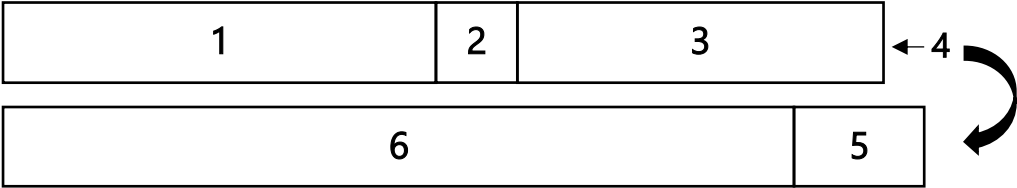


Figura 8.9 - Esquema em blocos da cadeia de cotas PNTBZ

Tabela 8.8 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (PNTBZ)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Cota Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	PNT_B (b)	Furo Suporte XZ (o)	+	255,94	1,075	0,925	0,15	0,0225	257,015	256,865	256,865	257,015	256,94
2	Furo Suporte XZ (o)	Furo Suporte YZ (o1)	+	0,42	0,5	-0,5	1	1	0,92	-0,08	0	0,92	0,46
3	Furo Suporte YZ (o1)	Centro "recorte"	+	230,71	1,525	0,675	0,85	0,7225	232,235	231,385	231,385	232,235	231,81
5	Centro tubo	RPS_002	-	32,25	0,625	-0,625	1,25	1,5625	32,875	31,625	32,875	31,625	32,25
6	RPS_002	PNT_B (b)	-	454,75	1,875	0,125	1,75	3,0625	456,625	454,875	456,625	454,875	455,75

Tabela 8.9 - Folga da cadeia de cotas (PNTBZ)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ média das cotas)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
4	Centro "recorte"	Centro tubo	+	-0,07	5	1,25	-3,75	-1,21	2,524	0,052	-2,472	-0,07	2,524	1,192	-1,332
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,070	2,524	1,332	-2,454								

○ PNTBX

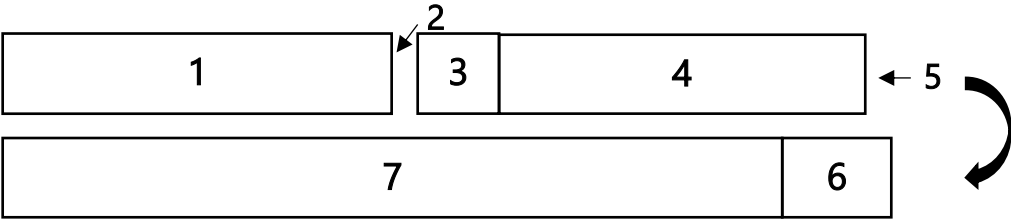
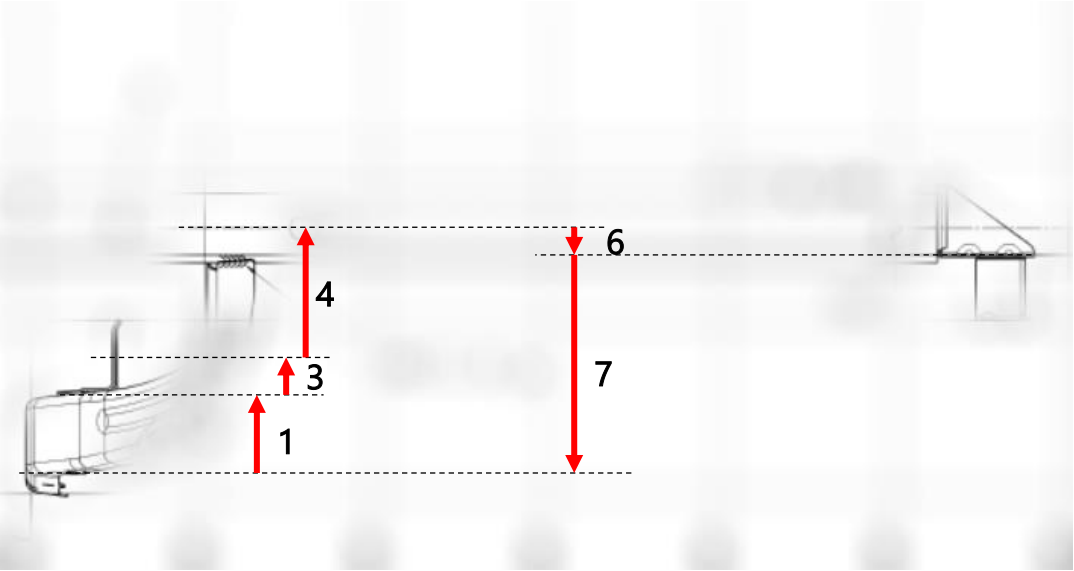


Figura 8.11 - Esquema em blocos da cadeia de cotas PNTBX

Figura 8.12 - Cadeia de cotas de PNTBX

Tabela 8.10 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (PNTBX)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Cota Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	PNT_B	Zona suporte	+	33,98	0,3	-0,3	0,6	0,36	34,28	33,68	33,68	34,28	33,98
3	Furo Suporte YZ (o1)	Furo suporte XZ (o)	+	24,12	0,2	-0,2	0,4	0,16	24,32	23,92	23,92	24,32	24,12
4	Furo Suporte XZ (o)	Centro "recorte"	+	71,46	1,525	0,675	0,85	0,7225	72,985	72,135	72,135	72,985	72,56
6	Centro tubo	RPS_002	-	15,5	0,5	-0,5	1	1	16	15	16	15	15,5
7	RPS_002	PNT_B	-	116	0,875	-0,875	1,75	3,0625	116,875	115,125	116,875	115,125	116

Tabela 8.11 - Folgas da cadeia de cotas (PNTBX)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
5	Centro "recorte"	Centro tubo	+	0,970	2,300	1,570	-0,730	0,420	1,152	0,996	-0,156	0,970	1,152	1,546	0,394
2	Zona tunel suporte	Suporte	+	0,970	2,300	1,570	-0,730	0,420	1,152	0,996	-0,156	0,970	1,152	1,546	0,394
TOTAL				1,940	4,600	3,140	-1,460	0,840	2,303	1,992	-0,312	1,940	2,303	3,092	0,788
												Estatístico (Nominal do CAD)			
												Nominal	Tolerância	Max	Min
												0,000	1,152	0,576	-1,152
												0,000	1,152	0,576	-1,152

- **CDIRA**

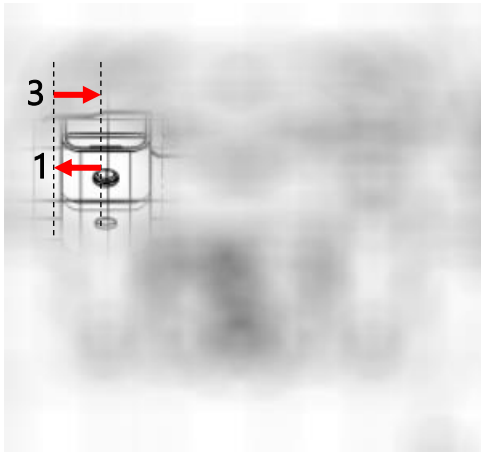


Figura 8.14 - Cadeia de cotas de CDIRA

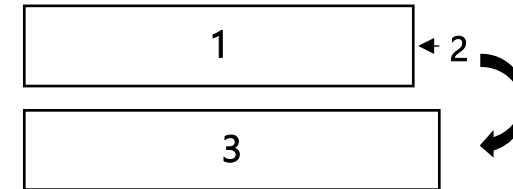


Figura 8.13 - Esquema em blocos da cadeia CDIRA

Tabela 8.12 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (CDIRA)

#					Limites de tolerância				Limites		Casos limite		Média
	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância*2	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	Centro furo	Borda porca	+	15,3	-0,075	-0,425	0,35	0,1225	15,225	14,875	14,875	15,225	15,05
3		Espessura chapa	+	1,7	0,07	-0,07	0,14	0,0196	1,77	1,63	1,63	1,77	1,7
4	Borda Bracket	Centro furo	-	17	0,5	-0,5	1	1	17,5	16,5	17,5	16,5	17

Tabela 8.13 - Folga da cadeia de cotas (CDIRA)

#	De A Direção			Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
2	Borda porca	Borda interior Bracket	+	0,000	1,490	0,995	-0,495	0,250	1,069	0,784	-0,284	0,000	1,069	0,534	-0,534
										Estatístico (Nominal do CAD)					
										Nominal	Tolerância	Max	Min		
										0,000	1,069	0,534	-0,534		

○ CDIRB

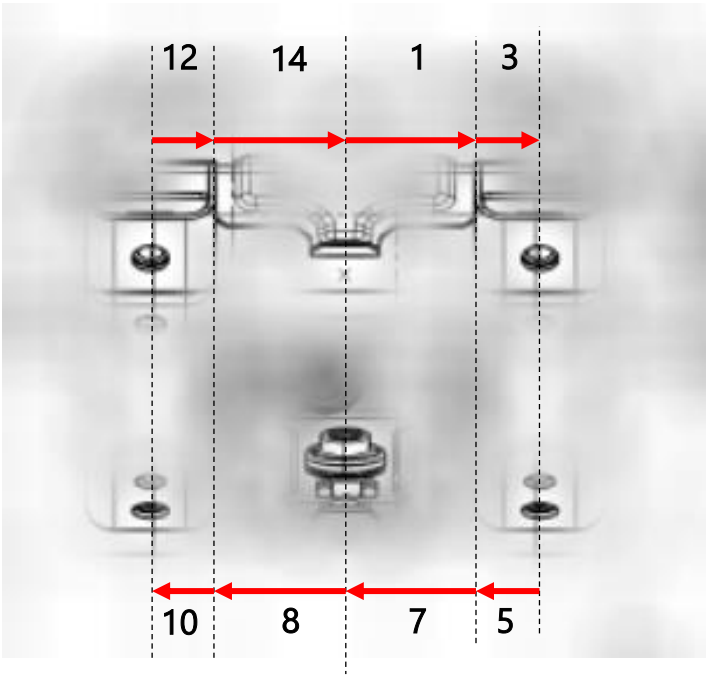


Figura 8.16 - Cadeia de cotas de CDIRB

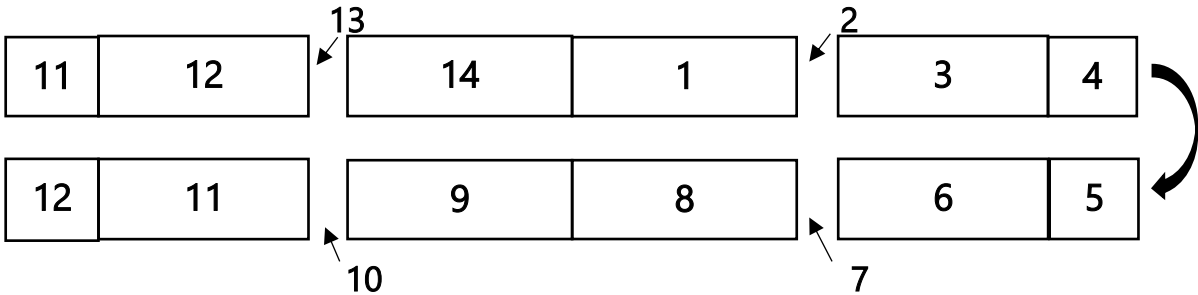


Figura 8.15 - Esquema em blocos da cadeia CDIRB

Tabela 8.14 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (CDIRB)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância*2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	AES/ furo ref. B	Borda chapa superior	+	34	0,063	-0,863	0,925	0,855625	34,0625	33,1375	33,1375	34,0625	33,6
3	Lateral Bracket	Centro furo (6013.32)	+	17	0,438	0,363	0,075	0,005625	17,4375	17,3625	17,3625	17,4375	17,4
4	Centro furo (6013.32)	Centro furo (6013.34)	+	0	0,550	-0,550	1,1	1,21	0,55	-0,55	-0,55	0,55	0
5	Centro furo (6013.34)	Lateral Bracket	-	17	0,488	-0,088	0,575	0,330625	17,4875	16,9125	17,4875	16,9125	17,2
7	Lateral chapa inferior	Ref. B (furo central)	-	34	0,013	-0,413	0,425	0,180625	34,0125	33,5875	34,0125	33,5875	33,8
8	Ref. B (furo central)	Lateral chapa inferior	-	34	0,013	-0,413	0,425	0,180625	34,0125	33,5875	34,0125	33,5875	33,8
10	Lateral Bracket	Centro furo (6013.33)	-	17	0,488	-0,088	0,575	0,330625	17,4875	16,9125	17,4875	16,9125	17,2
11	Centro furo (6013.33)	Centro furo (6013.31)	-	0	0,550	-0,550	1,1	1,21	0,55	-0,55	0,55	-0,55	0
12	Centro furo (6013.31)	Lateral Bracket	+	17	0,438	0,363	0,075	0,005625	17,4375	17,3625	17,3625	17,4375	17,4
14	Borda chapa superior	AES/ furo ref. B	+	34	0,063	-0,863	0,925	0,855625	34,0625	33,1375	33,1375	34,0625	33,6

Tabela 8.15 - Folgas da cadeia de cotas (CDIRB)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
2	Borda chapa superior	Lateral Bracket	+	0,000	1,550	0,775	-0,775	0,000	0,568	0,284	-0,284	0,000	0,568	0,284	-0,284
6	Lateral Bracket	Lateral chapa inferior	-	0,000	1,550	0,775	-0,775	0,000	0,568	0,284	-0,284	0,000	0,568	0,284	-0,284
9	Lateral chapa inferior	Lateral Bracket	-	0,000	1,550	0,775	-0,775	0,000	0,568	0,284	-0,284	0,000	0,568	0,284	-0,284
13	Lateral Bracket	Borda chapa superior	+	0,000	1,550	0,775	-0,775	0,000	0,568	0,284	-0,284	0,000	0,568	0,284	-0,284
TOTAL				0,000	6,200	3,100	-3,100	0,000	2,273	1,136	-1,136	0,000	2,273	1,136	-1,136
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	0,568	0,284	-0,284								
				0,000	0,568	0,284	-0,284								
				0,000	0,568	0,284	-0,284								
				0,000	0,568	0,284	-0,284								

○ CDIRX

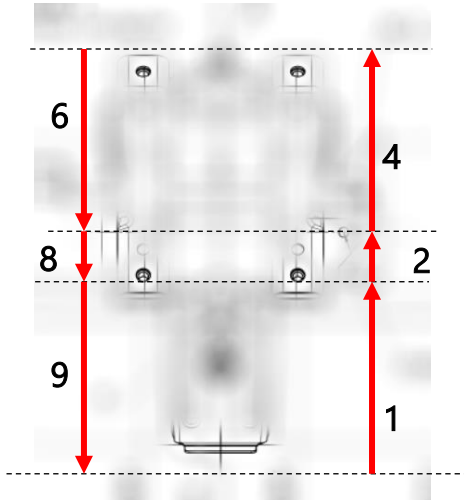


Figura 8.18 - Cadeia de cotas de CDIRX

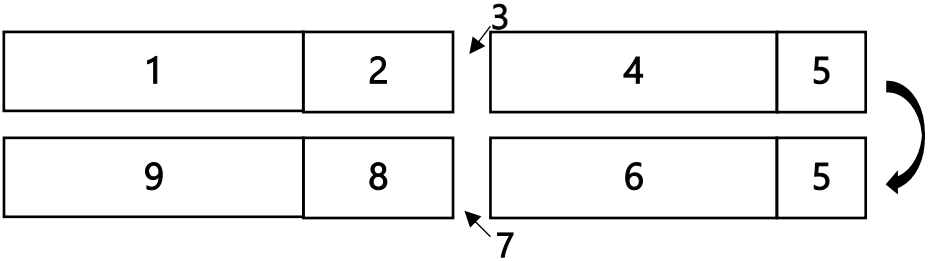


Figura 8.17 - Esquema em blocos da cadeia CDIRX

Tabela 8.16 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (CDIRX)

#	De				Limites de tolerância		Tolerância		Limites		Casos limite		Cota Média
	A	Direção	Dimensão Nominal		Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	AE4	Furo traseiro (.23)	+	27,65	0,45	-0,45	0,9	0,81	28,1	27,2	27,2	28,1	27,65
2	Furo traseiro (.23)	Centro "recorte"	+	28,37	0,25	-0,25	0,5	0,25	28,62	28,12	28,12	28,62	28,37
4	Centro tubo	Furo dianteiro (.21)	+	106,42	0,3	-0,3	0,6	0,36	106,72	106,12	106,12	106,72	106,42
5	Furo dianteiro (.21)	Furo dianteiro (.22)	+	0	0,01	-0,01	0,02	0,0004	0,01	-0,01	-0,01	0,01	0
6	Furo dianteiro (.22)	Centro "recorte"	-	106,42	0,3	-0,3	0,6	0,36	106,72	106,12	106,72	106,12	106,42
8	Centro tubo	Furo traseiro (.24)	-	28,37	0,25	-0,25	0,5	0,25	28,62	28,12	28,62	28,12	28,37
9	Furo traseiro (.24)	AE4	-	27,65	0,45	-0,45	0,9	0,81	28,1	27,2	28,1	27,2	27,65

Tabela 8.17 - Folgas da cadeia de cotas (CDIRX)

#	De				Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
	A	Direção	Nominal	Tolerância	Max	Min			Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Centro "recorte"	Centro tubo	+	0,000	2,010	1,005	-1,005	0,000	0,843	0,421	-0,421	0,000	0,843	0,421	-0,421	
7	Centro "recorte"	Centro tubo	-	0,000	2,010	1,005	-1,005	0,000	0,843	0,421	-0,421	0,000	0,843	0,421	-0,421	
TOTAL				0,000	4,020	2,010	-2,010	0,000	1,685	0,843	-0,843	0,000	1,685	0,843	-0,843	
Estatístico (Nominal do CAD)																
				Nominal	Tolerância	Max	Min									
				0,000	0,843	0,421	-0,421									
				0,000	0,843	0,421	-0,421									

○ FESQY

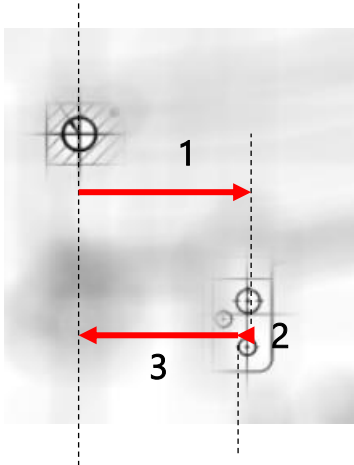


Figura 8.20 - Cadeia de cotas de FESQY

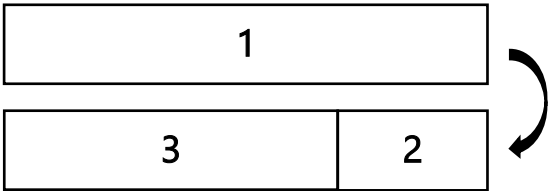


Figura 8.19 - Esquema em blocos de FESQY

Tabela 8.18 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (FESQY)

#	De		Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Cota Média
		A			Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Furo Superior (h)	+	64,5	0,15	-0,15	0,3	0,09	64,65	64,35	64,35	64,65	64,5
2	Furo Superior (h)	Furo Inferior (h1)	-	0,36	0,175	-0,175	0,35	0,1225	0,535	0,185	0,535	0,185	0,36
3	Furo Inferior (h1)	RPS_001	-	64,14	0,7	-0,7	1,4	1,96	64,84	63,44	64,84	63,44	64,14

64

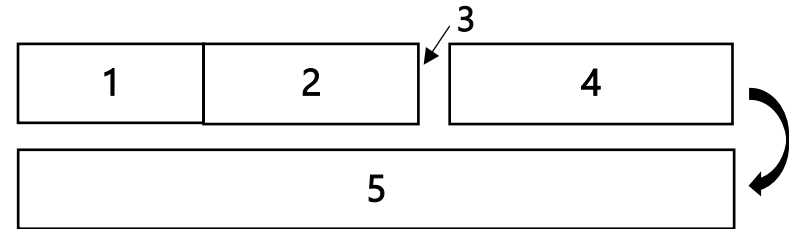


Figura 8.22 - Cadeia de cotas de FESQZ

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Cota Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	Furo inferior (h1)	Furo superior (h)	+	17,48	0,3	-0,3	0,6	0,36	17,78	17,18	17,18	17,78	17,48
2	Furo superior (h)	Centro "recorte"	+	26,17	0,125	-0,725	0,85	0,7225	26,295	25,445	25,445	26,295	25,87
4	Centro curvatura tubo	RPS_001	+	36,99	0,125	-0,125	0,25	0,0625	37,115	36,865	36,865	37,115	36,99
5	RPS_001	Furo inferior (h1)	-	81,28	0,575	-0,575	1,15	1,3225	81,855	80,705	81,855	80,705	81,28

#	De A Direção			Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ média das cotas)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Centro "recorte"	Centro curvatura tubo	+	0,64	2,85	2,365	-0,485	0,94	1,571	1,725	0,155	0,64	1,571	1,425	-0,145
									Estatístico (Nominal do CAD)						
									Nominal	Tolerância	Max	Min			
									0,64	1,571	1,425	-0,145			

○ FESQX

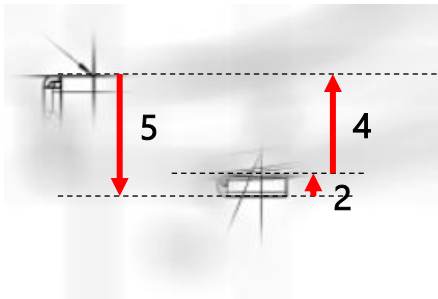


Figura 8.24 - Cadeia de cotas de FESQX

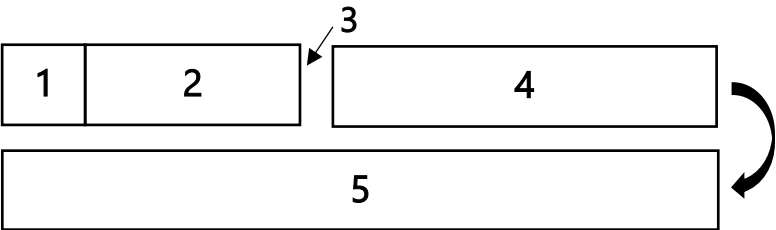


Figura 8.23 - Esquema em blocos de FESQX

Tabela 8.21 - Dimensões nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (FESQX)

#	De		Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância		Limites		Casos limite		Cota Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	Furo inferior (h1)	Furo superior (h)	+	0	0,3	-0,3	0,6	0,36	0,3	-0,3	0	0,3	0,15
2	Furo superior (h)	Borda de contacto	+	8,33	0	-0,6	0,6	0,36	8,33	7,73	7,73	8,33	8,03
4	Tubo	RPS_001	+	36,64	0,2	-0,2	0,4	0,16	36,84	36,44	36,44	36,84	36,64
5	RPS_001	Furo inferior (h1)	-	46	0,8	-0,8	1,6	2,56	46,8	45,2	46,8	45,2	46

Tabela 8.22 - Folga da cadeia de cotas (FESQX)

#	De		Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ média das cotas)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Borda de contacto	Tubo	+	1,03	3,2	2,63	-0,57	1,18	1,855	2,107	0,253	1,03	1,855	1,957	0,103
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				1	1,855	1,927	0,073								

○ FDIRY

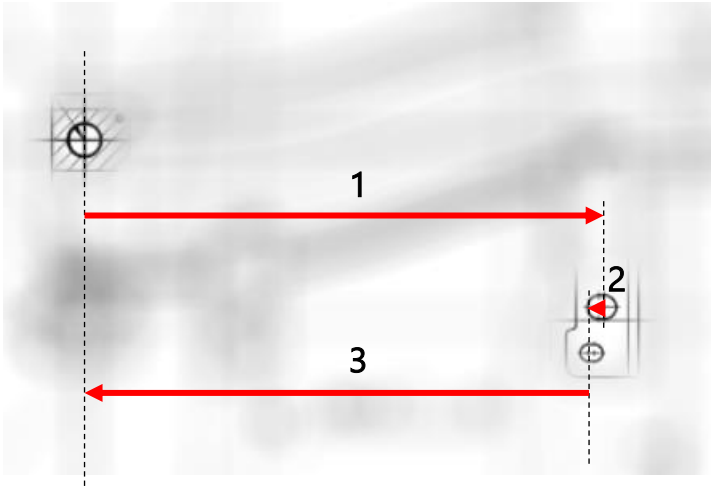


Figura 8.26 - Cadeia de cotas de FDIRY

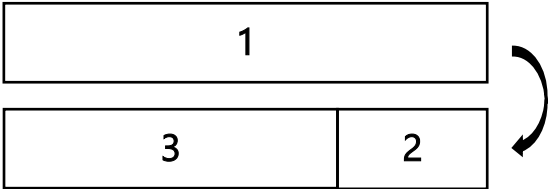


Figura 8.25 - Esquema em blocos da cadeia FDIRY

Tabela 8.23 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (FDIRY)

#	De		A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Cota Média
						Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Furo Superior (I)	+		197,84	0,15	-0,15	0,3	0,09	197,99	197,69	197,69	197,99	197,84
2	Furo Superior (I)	Furo Inferior (I1)	-		3,94	0,175	-0,175	0,35	0,1225	4,115	3,765	4,115	3,765	3,94
3	Furo Inferior (I1)	RPS_001	-		193,89	0,7	-0,7	1,4	1,96	194,59	193,19	194,59	193,19	193,89

○ FDIRZ

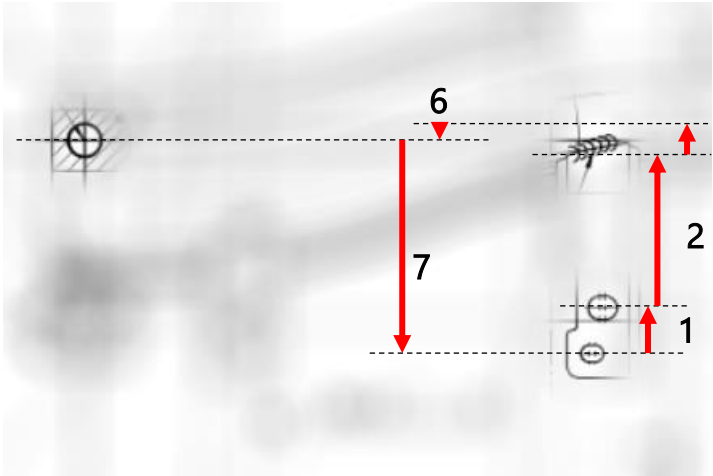


Figura 8.28 - Cadeia de cotas de FDIRZ

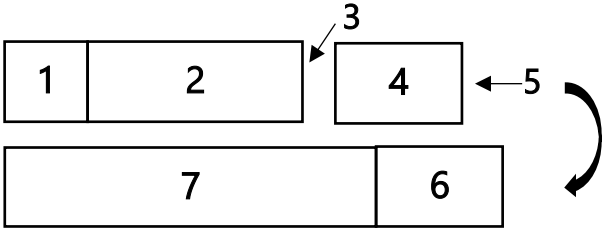


Figura 8.27 - Esquema em blocos da cadeia FDIRZ

Tabela 8.24 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (FDIRZ)

#	De A		Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância		Limites		Casos limite		Cota Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	Furo inferior (I1)	Furo superior (I)	+	17,48	0,05	-0,05	0,1	0,01	17,53	17,43	17,43	17,53	17,48
2	Furo superior (I)	Centro "recorte" esq.	+	77,27	0	-0,6	0,6	0,36	77,27	76,67	76,67	77,27	76,97
4	Centro curvatura tubo esq.	Centro "recorte" dir.	+	2,11	0	-0,6	0,6	0,36	2,11	1,51	1,51	2,11	1,81
6	Centro curvatura tubo dir.	RPS_001	-	15,58	0,5	-0,5	1	1	16,08	15,08	16,08	15,08	15,58
7	RPS_001	Furo inferior (I1)	-	81,28	0,7	-0,7	1,4	1,96	81,98	80,58	81,98	80,58	81,28

Tabela 8.25 - Folgas da cadeia de cotas (FDIRZ)

#	De A		Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ média das cotas)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Centro "recorte" esq.	Centro curvatura tubo esq.	+	0,000	1,850	1,225	-0,625	0,300	0,960	0,780	-0,180	0,000	0,960	0,480	-0,480
5	Centro "recorte" dir.	Centro curvatura tubo dir.	+	0,000	1,850	1,225	-0,625	0,300	0,960	0,780	-0,180	0,000	0,960	0,480	-0,480
TOTAL				0,000	3,700	2,450	-1,250	0,600	1,921	1,560	-0,360	0,000	1,921	0,960	-0,960
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	0,960	0,480	-0,480								
				0,000	0,960	0,480	-0,480								

○ FDIRX

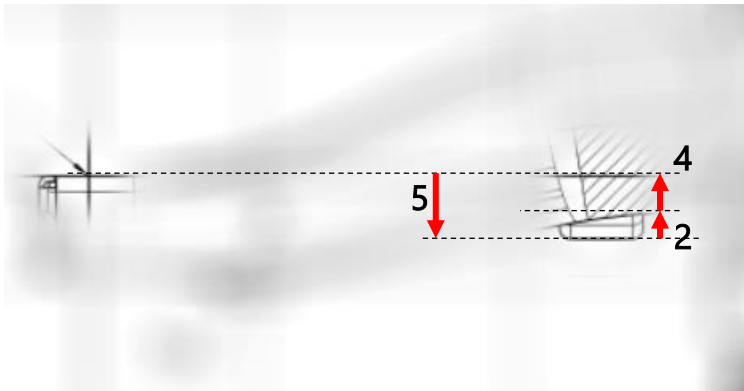


Figura 8.30 - Cadeia de cotas de FDIRX

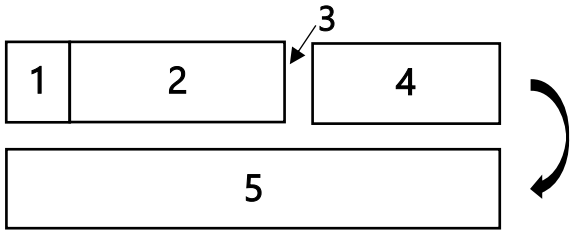


Figura 8.29 - Esquema em blocos da cadeia FDIRX

Tabela 8.26 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (FDIRX)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Cota Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	Furo inferior (I1)	Furo superior (I)	+	0	0,3	-0,3	0,6	0,36	0,3	-0,3	0	0,3	0,15
2	Furo superior (I)	Borda de contacto	+	14,18	0	-0,6	0,6	0,36	14,18	13,58	13,58	14,18	13,88
4	Tubo	RPS_001	+	9,82	0,2	-0,2	0,4	0,16	10,02	9,62	9,62	10,02	9,82
5	RPS_001	Furo inferior (h1)	-	24	0,8	-0,8	1,6	2,56	24,8	23,2	24,8	23,2	24

Tabela 8.27 - Folga da cadeia de cotas (FDIRX)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ média das cotas)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Borda de contacto	Tubo	+	0,000	3,200	1,600	-1,600	0,150	1,855	1,077	-0,777	0,000	1,855	0,927	-0,927
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	1,855	0,927	-0,927								

○ GLUVY

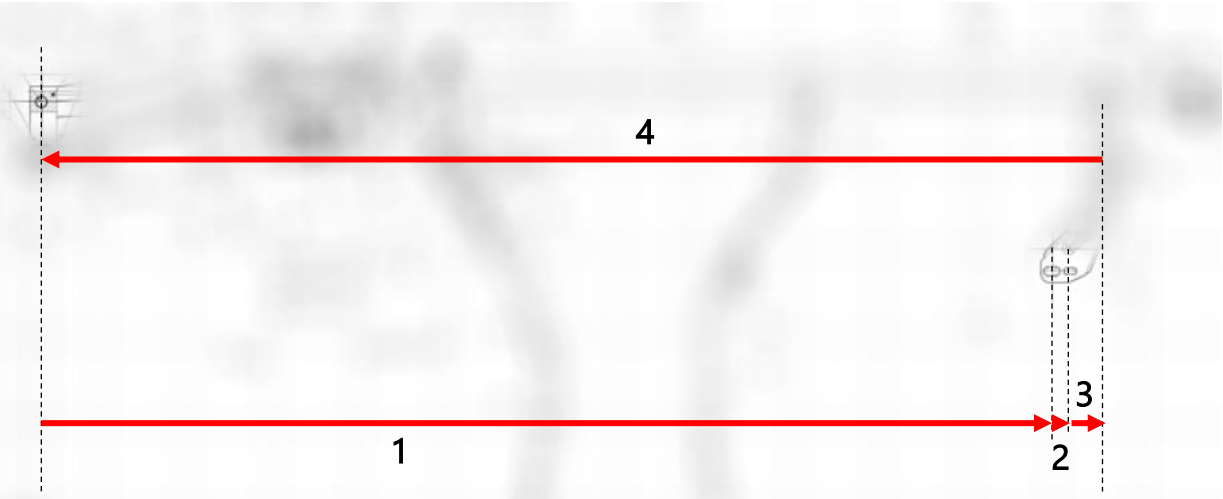


Figura 8.31 - Cadeia de cotas de GLUVY

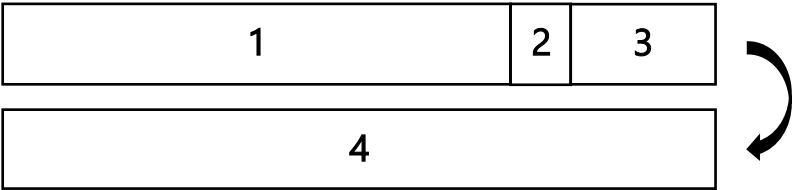


Figura 8.32 - Esquema em blocos da cadeia GLUVY

Tabela 8.28 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (GLUVY)

#					Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Cota Média
	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Furo esquerdo (q)	+	1163,02	0,475	-0,475	0,95	0,9025	1163,495	1162,545	1162,545	1163,495	1163,02
2	Furo esquerdo (q)	Furo direito (q1)	+	20,98	0,3	-0,3	0,6	0,36	21,28	20,68	20,68	21,28	20,98
3	Furo direito (q1)	Furo ref. C	+	37,29	0,25	-0,25	0,5	0,25	37,54	37,04	37,04	37,54	37,29
4	Furo ref. C	RPS_001	-	1221,29	0,125	-0,125	0,25	0,0625	1221,415	1221,165	1221,415	1221,165	1221,29

- **GLUVZ**

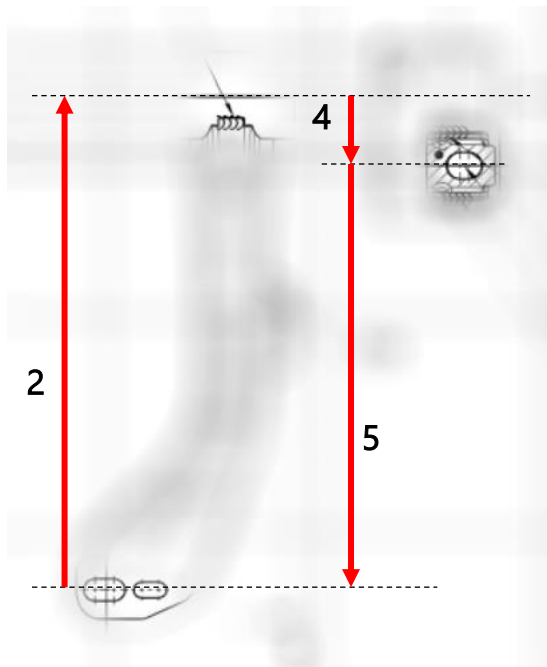


Figura 8.34 - Cadeia de cotas de GLUVZ

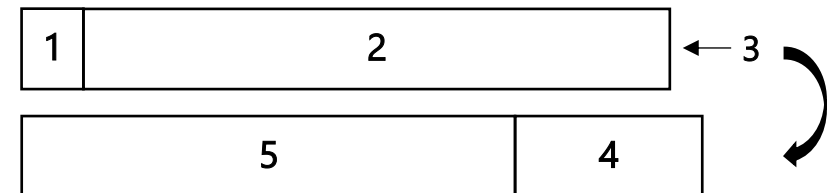


Figura 8.33 - Esquema em blocos da cadeia GLUVZ

Tabela 8.30 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (GLUVZ)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância		Limites		Casos limite		Cota Média
					Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância^2	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	Furo esquerdo (q)	Furo direito (q1)	+	0	0,05	-0,05	0,1	0,01	0,05	-0,05	0	0,05	0,025
2	Furo direito (q1)	Centro "recorte"	+	226,94	0	-0,6	0,6	0,36	226,94	226,34	226,34	226,94	226,64
4	Centro tubo	RPS_002	-	32,25	0,125	-0,125	0,25	0,0625	32,375	32,125	32,375	32,125	32,25
5	RPS_002	Furo esquerdo (q)	-	194,76	0,6	-0,6	1,2	1,44	195,36	194,16	195,36	194,16	194,76

Tabela 8.29 - Folga da cadeia de cotas (GLUVZ)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ média das cotas)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Centro "recorte"	Centro tubo	+	0,070	2,150	1,395	-0,755	0,345	1,368	1,029	-0,339	0,070	1,368	0,754	-0,614
										Estatístico (Nominal do CAD)					
										Nominal	Tolerância	Max	Min		
										0,070	1,368	0,754	-0,614		

○ GLUVX

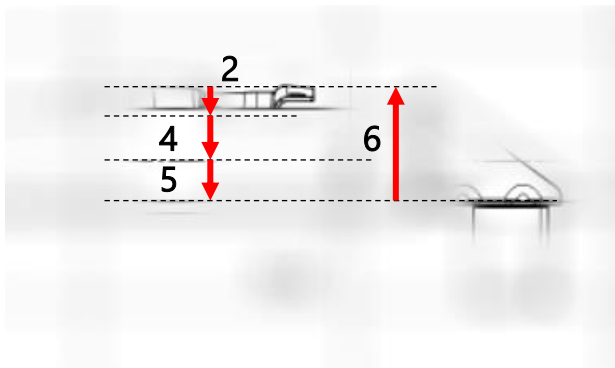


Figura 8.36 - Cadeia de cotas de GLUVX

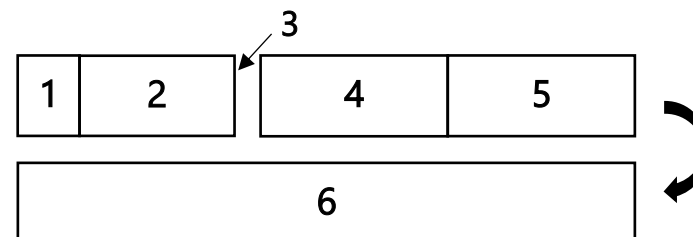


Figura 8.35 - Esquema em blocos da cadeia GLUVX

Tabela 8.31 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (GLUVX)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Cota Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	Furo esquerdo (q)	Furo direito (q1)	+	0	0,3	-0,3	0,6	0,36	0,3	-0,3	0	0,3	0,15
2	Furo direito (q1)	Borda	+	35,76	0	-0,6	0,6	0,36	35,76	35,16	35,16	35,76	35,46
4	Superfície ext. tubo	Centro tubo	-	17,26	0,3	-0,3	0,6	0,36	17,56	16,96	17,56	16,96	17,26
5	Centro tubo	RPS_002	+	15,5	0,3	-0,3	0,6	0,36	15,8	15,2	15,2	15,8	15,5
6	RPS_002	Furo esquerdo (q)	-	34	0,8	-0,8	1,6	2,56	34,8	33,2	34,8	33,2	34

Tabela 8.32 – Folga da cadeia de cotas (GLUVX)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ média das cotas)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Borda	Superfície ext. tubo	-	0,000	4,000	2,000	-2,000	0,150	2,000	1,150	-0,850	0,000	2,000	1,000	-1,000
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	2,000	1,000	-1,000								

○ SPDRY

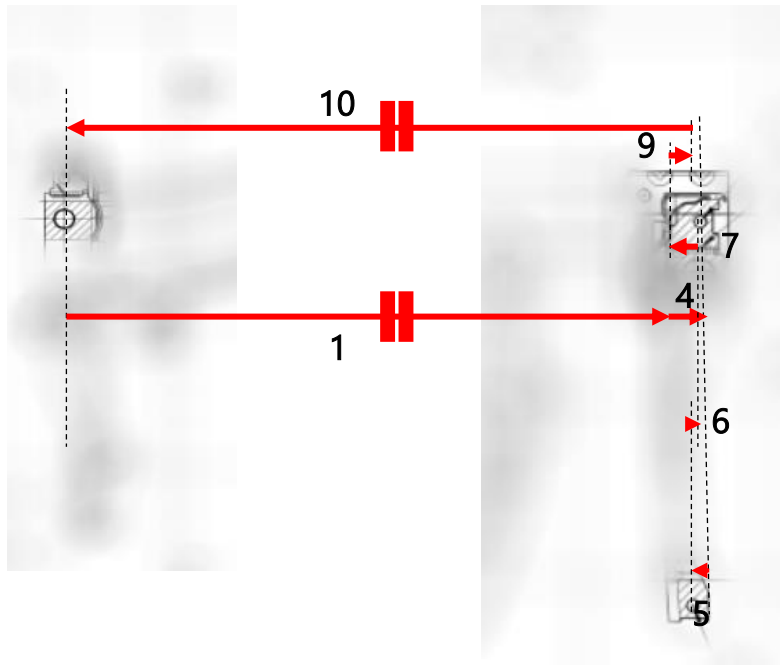


Figura 8.38 - Cadeia de cotas de SPDRY

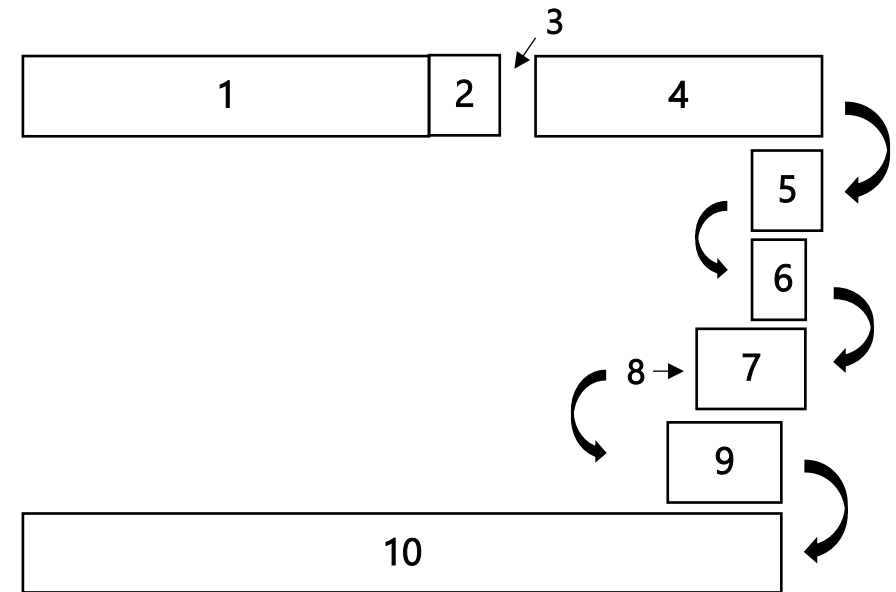


Figura 8.37 - Esquema em blocos da cadeia SPDRY

Tabela 8.34 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (SPDRY)

#	De A		Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância				Limites		Casos limite		
					Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância^2	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	Média
1	RPS_001	Face Halter IT (ref. A)	+	1309,5	0,3	-0,3	0,6	0,36	1309,8	1309,2	1309,2	1309,8	1309,5
2		Espessura chapa	+	1,2	0,05	-0,05	0,1	0,01	1,25	1,15	1,15	1,25	1,2
4	Borda peça superior	Furo peça superior (e1)	+	18,1	0,175	-0,775	0,95	0,9025	18,275	17,325	17,325	18,275	17,8
5	Furo peça superior (e1)	Furo inferior (e2)	-	4,1	1,6	-1,6	3,2	10,24	5,7	2,5	5,7	2,5	4,1
6	Furo inferior (e2)	Rasgo peça inferior	+	3,3	0,675	-0,675	1,35	1,8225	3,975	2,625	2,625	3,975	3,3
7	Rasgo peça inferior	Borda peça inferior	-	17,3	0,325	-0,325	0,65	0,4225	17,625	16,975	17,625	16,975	17,3
9	Face halter IT	Rasgo superior (e)	+	12,5	0,675	-0,675	1,35	1,8225	13,175	11,825	11,825	13,175	12,5
10	Rasgo superior (e)	RPS_001	-	1323,2	0,725	-0,725	1,45	2,1025	1323,925	1322,475	1323,925	1322,475	1323,2

Tabela 8.33 - Folgas da cadeia de cotas (SPDRY)

#	De A		Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Face Halter IT	Borda peça superior	+	0,000	4,825	14,387	9,562	12,650	2,103	13,701	11,599	0,000	2,103	1,051	-1,051
8	Borda peça inferior	Face halter IT	-	0,000	4,825	14,387	9,562	12,650	2,103	13,701	11,599	0,000	2,103	1,051	-1,051
TOTAL				0,000	9,650	28,775	19,125	25,300	4,205	27,403	23,197	0,000	4,205	2,103	-2,103

Estatístico (Nominal do CAD)			
Nominal	Tolerância	Max	Min
0,000	2,103	1,051	-2,103
0,000	2,103	1,051	-2,103

○ SPDRZ

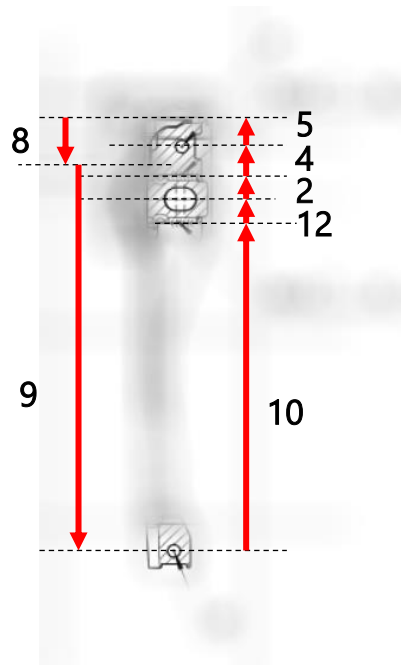


Figura 8.41 - Cadeia de cotas de SPDRZ

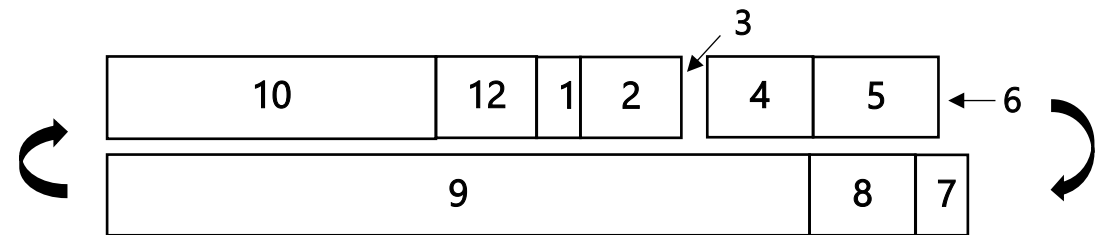


Figura 8.40 - Esquema em blocos de SPDRZ

Tabela 8.35 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (SPDRZ)

#	De A		Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância		Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_002	Rasgo peça inferior	+	0	0,25	-0,25	0,5	0,25	0,25	-0,25	-0,25	0,25	0
2	Rasgo peça inferior	Borda peça inferior	+	12,5	0,3	-0,3	0,6	0,36	12,8	12,2	12,2	12,8	12,5
4	Borda peça superior	Furo peça superior (e1)	+	14,75	0,175	-0,775	0,95	0,9025	14,925	13,975	13,975	14,925	14,45
5	Furo peça superior (e1)	Face rasgo rectangular (e3)	+	15,2	1	-1	2	4	16,2	14,2	14,2	16,2	15,2
7		Espessura chapa	-	1,2	0,05	-0,05	0,1	0,01	1,25	1,15	1,25	1,15	1,2
8	Borda superior halter (e)	Furo ref. B	-	24	0,125	-0,125	0,25	0,0625	24,125	23,875	24,125	23,875	24
9	Furo ref. B	Furo inferior (e2)	-	200	0,675	-0,675	1,35	1,8225	200,675	199,325	200,675	199,325	200
10	Furo inferior (e2)	Borda halter	+	170,45	0	-0,6	0,6	0,36	170,45	169,85	169,85	170,45	170,15
12	Borda peça inferior	RPS_002	+	12,3	0,3	-0,3	0,6	0,36	12,6	12	12	12,6	12,3

Tabela 8.36 - Folgas da cadeia de cotas (SPDRZ)

#	De A		Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Borda peça inferior	Borda peça superior	+	0,000	2,317	1,358	-0,958	0,200	0,950	0,675	-0,275	0,000	0,950	0,475	-0,475
6	Borda rasgo rectangular	Borda superior halter (e)	-	0,000	2,317	1,358	-0,958	0,200	0,950	0,675	-0,275	0,000	0,950	0,475	-0,475
11	Borda halter	Borda peça inferior	+	0,000	2,317	1,358	-0,958	0,200	0,950	0,675	-0,275	0,000	0,950	0,475	-0,475
TOTAL				0,000	6,950	4,075	-2,875	0,600	2,851	2,025	-0,825	0,000	2,851	1,425	-1,425
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	0,950	0,475	-0,475								
				0,000	0,950	0,475	-0,475								
				0,000	0,950	0,475	-0,475								

○ SPDRX

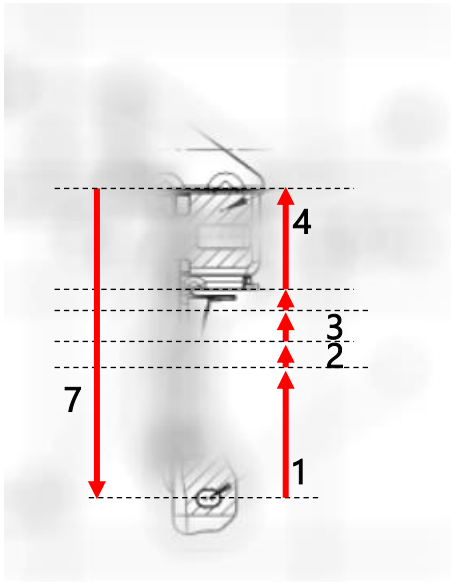


Figura 8.43 - Cadeia de cotas de SPDRX

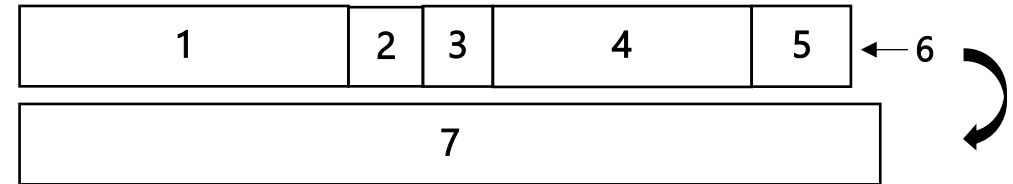


Figura 8.42 - Esquema em blocos de SPDRX

Tabela 8.37 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (SPDRX)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	Rasgo superior (e)	Furo ref. B	+	72,5	0,675	-0,675	1,35	1,8225	73,175	71,825	71,825	73,175	72,5
2	Furo ref. B	Furo inferior (e2)	+	3,7	0,125	-0,125	0,25	0,0625	3,825	3,575	3,575	3,825	3,7
3	Furo inferior (e2)	Rasgo ref. C	+	1,3	0,125	-0,125	0,25	0,0625	1,425	1,175	1,175	1,425	1,3
4	Rasgo ref. C	Furo peça superior (e1)	+	7,8	0,3	-0,3	0,6	0,36	8,1	7,5	7,5	8,1	7,8
5	Furo peça superior (e1)	Borda peça superior	+	31,45	0	-0,6	0,6	0,36	31,45	30,85	30,85	31,45	31,15
7		Espessura chapa	+	1,25	0,05	-0,05	0,1	0,01	1,3	1,2	1,2	1,3	1,25
8	RPS_002	Rasgo superior (e)	-	118	0,5	-0,5	1	1	118,5	117,5	118,5	117,5	118

Tabela 8.38 - Folga da cadeia de cotas (SPDRX)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
6	Borda peça superior	Peça RPS	+	0,000	4,150	2,375	-1,775	0,300	1,918	1,259	-0,659	0,000	1,918	0,959	-0,959
Estatístico (Nominal CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	1,918	0,959	-0,959								

○ AIRBY

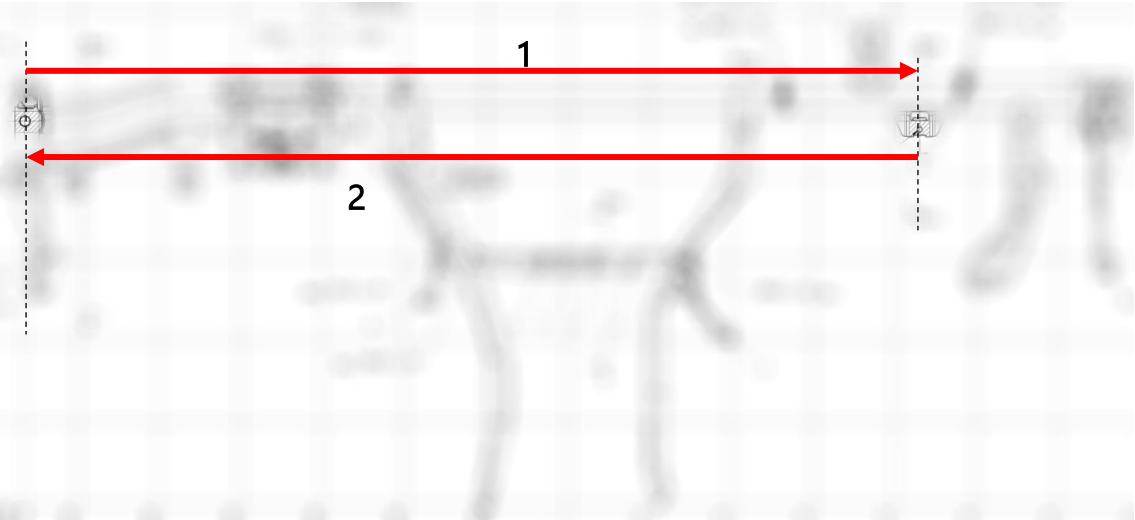


Figura 8.44 - Cadeia de cotas de AIRBY

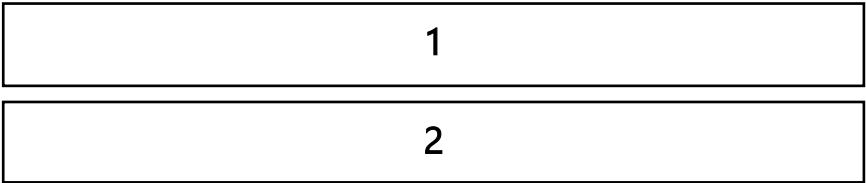


Figura 8.45 - Esquema em blocos de AIRBY

Tabela 8.39 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (AIRBY)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Furo (k)	+	1094,7	0,6	-0,6	1,2	1,44	1095,3	1094,1	1094,1	1095,3	1094,7
2	Furo (k)	RPS_001	-	1094,7	0,25	-0,25	0,5	0,25	1094,95	1094,45	1094,95	1094,45	1094,7

○ AIRCY

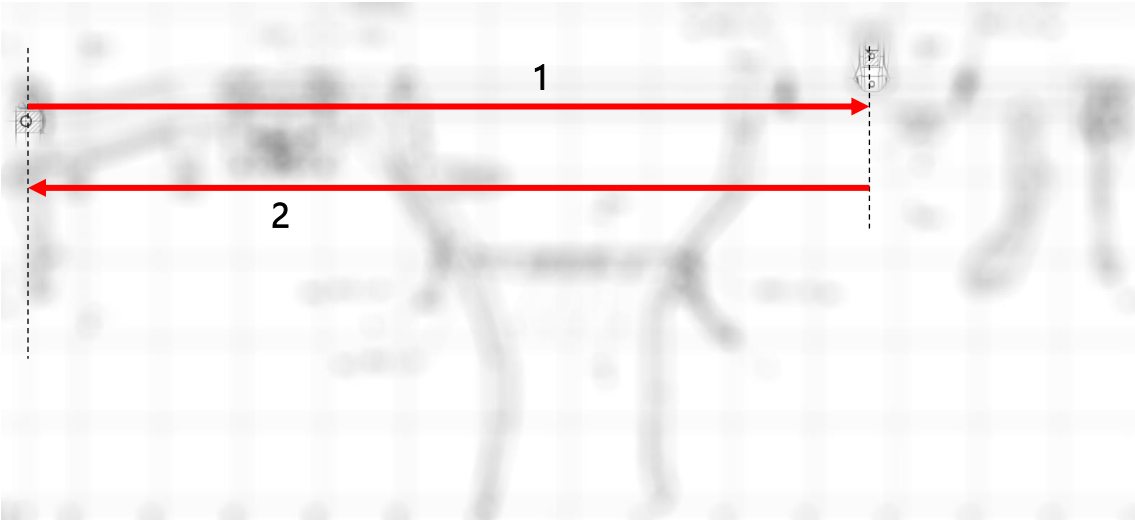


Figura 8.47 - Cadeia de cotas de AIRCY

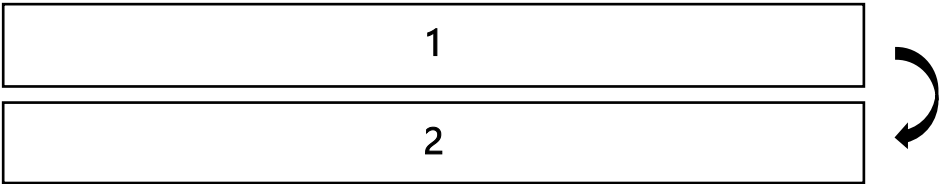


Figura 8.46 - Esquema em blocos de AIRCY

Tabela 8.40 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (AIRCY)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Furo (n)	+	1034	0,6	-0,6	1,2	1,44	1034,6	1033,4	1033,4	1034,6	1034
2	Furo (n)	RPS_001	-	1034	0,25	-0,25	0,5	0,25	1034,25	1033,75	1034,25	1033,75	1034

○ AIRBZ

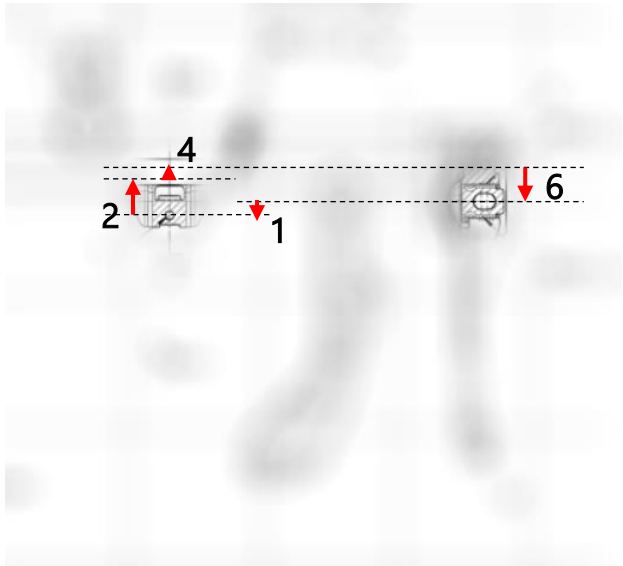


Figura 8.49 - Cadeia de cotas de AIRBZ

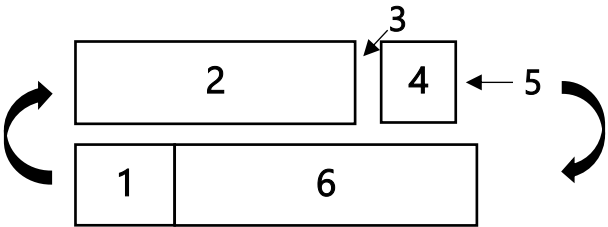


Figura 8.48 - Esquema em blocos de AIRBZ

Tabela 8.41 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (AIRBZ)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_002	Furo (k)	-	10,5	0,6	-0,6	1,2	1,44	11,1	9,9	11,1	9,9	10,5
2	Furo (k)	Borda "central"	+	28,74	0,125	-0,725	0,85	0,7225	28,865	28,015	28,015	28,865	28,44
4	Tubo	Bordas "laterais"	+	7,32	0	-0,6	0,6	0,36	7,32	6,72	6,72	7,32	7,02
6	Tubo	RPS_002	-	25,74	0,875	-0,875	1,75	3,0625	26,615	24,865	26,615	24,865	25,74

Tabela 8.42 - Folgas da cadeia de cotas (AIRBZ)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Borda "central"	Tubo	+	0,090	1,467	0,993	-0,473	0,260	0,788	0,654	-0,134	0,060	0,788	0,454	-0,334
5	Bordas "laterais"	Tubo	-	0,090	1,467	0,993	-0,473	0,260	0,788	0,654	-0,134	0,060	0,788	0,454	-0,334
TOTAL				0,180	4,400	2,980	-1,420	0,780	2,363	1,962	-0,402	0,180	2,363	1,362	-1,002
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	0,788	0,394	-0,394								
				0,000	0,788	0,394	-0,394								

○ AIRCZ

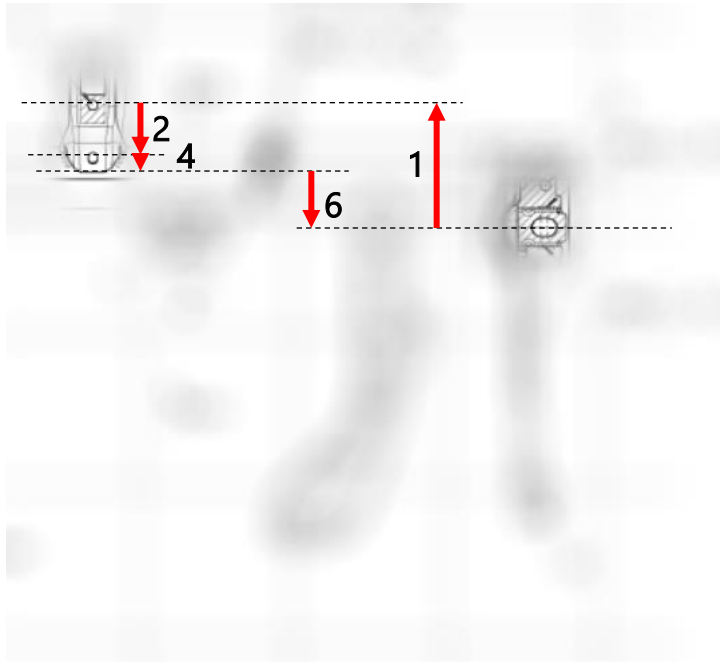


Figura 8.51 - Cadeia de cotas de AIRCZ

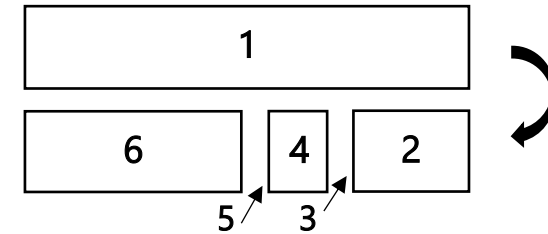


Figura 8.50 - Esquema em blocos da cadeia AIRCZ

Tabela 8.43 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (AIRCZ)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância		Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_002	Furo (n)	-	79,63	0,4	-0,4	0,8	0,64	80,03	79,23	80,03	79,23	79,63
2	Furo (n)	Borda lateral suporte	+	29,25	0,125	-0,725	0,85	0,7225	29,375	28,525	28,525	29,375	28,95
4	Tubo	Borda inferior suporte	+	13,97	0	-0,6	0,6	0,36	13,97	13,37	13,37	13,97	13,67
6	Tubo	RPS_002	+	36,48	0,875	-0,875	1,75	3,0625	37,355	35,605	35,605	37,355	36,48

Tabela 8.44 - Folgas da cadeia de cotas (AIRCZ)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Borda lateral suporte	Tubo	+	-0,035	1,333	10,352	9,018	0,177	0,729	0,541	-0,188	-0,023	0,729	0,341	-0,388
5	Borda inferior suporte	Tubo	+	-0,035	1,333	10,352	9,018	0,177	0,729	0,541	-0,188	-0,023	0,729	0,341	-0,388
TOTAL				-0,070	4,000	31,055	27,055	0,530	2,187	1,624	-0,564	-0,070	2,187	1,024	-1,164
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	0,729	0,365	-0,365								
				0,000	0,729	0,365	-0,365								

○ AIRCX



Figura 8.53 - Cadeia de cotas de AIRCX

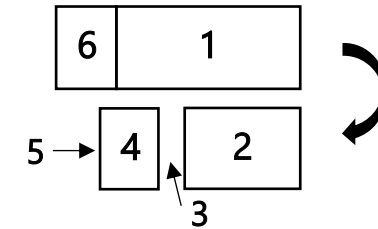


Figura 8.52 - Esquema em blocos da cadeia AIRCX

Tabela 8.45 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (AIRCX)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância^2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_002	Face furo n	-	16,72	0,6	-0,6	1,2	1,44	17,32	16,12	17,32	16,12	16,72
2	Face furo n	Borda contacto inferior	+	11,94	0	-0,6	0,6	0,36	11,94	11,34	11,34	11,94	11,64
4	Tubo	Borda contacto lateral	+	0,87	0	-0,6	0,6	0,36	0,87	0,27	0,27	0,87	0,57
6	Tubo	RPS_002	+	3,18	0,75	-0,75	1,5	2,25	3,93	2,43	2,43	3,93	3,18

Tabela 8.46 - Folgas da cadeia de cotas (AIRCX)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Borda contacto inferior	Tubo	+	0,365	1,950	1,640	-0,310	0,665	1,050	1,190	0,140	0,365	1,050	0,890	-0,160
5	Borda contacto lateral	Tubo	+	0,365	1,950	1,640	-0,310	0,665	1,050	1,190	0,140	0,365	1,050	0,890	-0,160
TOTAL				0,730	3,900	3,280	-0,620	1,330	2,100	2,380	0,280	0,730	2,100	1,780	-0,320
Estatístico (Nominal CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	1,050	0,525	-0,525								
				0,000	1,050	0,525	-0,525								

○ CENTY

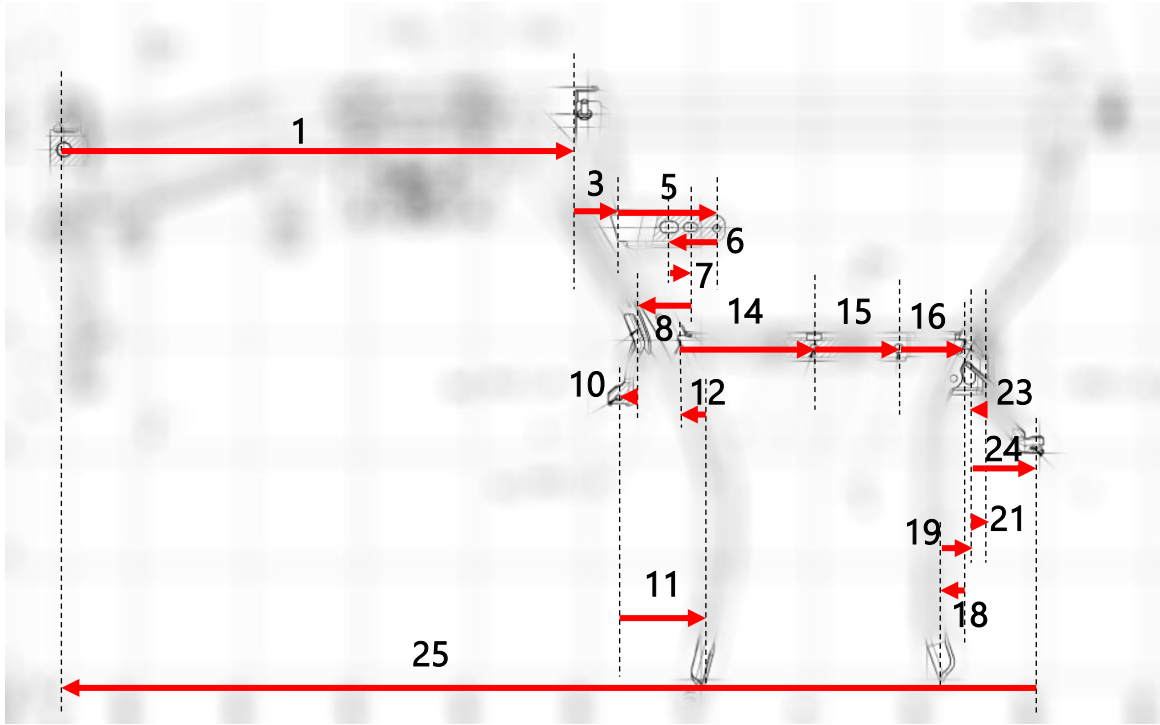


Figura 8.54 - Cadeia de cotas de CENTY

Tabela 8.48 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (CENTY)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância*2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Borda tubo ROHR	+	452,97	1,125	-1,125	2,25	5,0625	454,095	451,845	451,845	454,095	452,97
3	Topo tunel	Zona do suporte	+	34,53	0,6	-0,6	1,2	1,44	35,13	33,93	33,93	35,13	34,53
5	Borda suporte	Referência B	+	89,61	0,125	-0,125	0,25	0,625	89,735	88,885	88,885	89,735	89,31
6	Referência B	Furo esq. suporte (m)	-	42	0,275	-0,275	0,55	0,3025	42,275	41,725	42,275	41,725	42
7	Furo esq. suporte (m)	Furo dir. suporte (m1)	+	19	0,3	-0,3	0,6	0,36	19,3	18,7	18,7	19,3	19
8	Furo dir. suporte (m1)	Zona suporte Esq-baixo	-	50,88	0,125	-0,125	0,25	0,0625	51,005	50,755	51,005	50,755	50,88
10	Borda suporte	Furo g	-	12,57	0,75	-0,75	1,5	2,25	13,32	11,82	13,32	11,82	12,57
11	Furo g	PNT_A	+	77,27	0,125	-0,125	0,25	0,0625	77,395	77,145	77,145	77,395	77,27
12	PNT_A	Zona travessa Tunel esq.	-	19,39	0,3	-0,3	0,6	0,36	19,69	19,09	19,69	19,09	19,39
14	Borda travessa esq.	Furo f	-	114,87	0,3	-0,3	0,6	0,36	115,17	113,97	113,97	115,17	114,57
15	Furo f	Furo o (ref)	+	75,01	0,25	-0,25	0,5	0,25	75,26	74,76	74,76	75,26	75,01
16	Furo o (ref)	Borda travessa dir.	+	57,31	0	-0,6	0,6	0,36	57,31	56,71	56,71	57,31	57,01
18	Zona travessa Tunel dir.	PNT_B	-	25,43	0,3	-0,3	0,6	0,36	25,73	25,13	25,73	25,13	25,43
19	PNT_B	Zona interior tunel (suporte)	+	24,63	0,75	-0,75	1,5	2,25	25,38	23,88	25,38	23,88	24,63
21	Borda suporte dir.	Zona de contacto suporte - L	+	18,02	0	-1,2	1,2	1,44	18,02	16,82	16,82	18,02	17,42
23	Superfície xz L	Rasgo o1	-	12,07	0,2	-0,2	0,4	0,16	12,27	11,87	12,27	11,87	12,07
24	Rasgo o1	Furo h	+	57,15	0,125	-0,125	0,25	0,0625	57,275	57,025	57,025	57,275	57,15
25	Furo h	RPS_001	-	858,61	0,125	-0,125	0,25	0,0625	858,735	858,485	858,735	858,485	858,61

Tabela 8.47 - Folgas da cadeia de cotas (CENTY)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total			Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
2	Borda tubo ROHR	Topo tunel	+	0,083	2,079	1,336	0,297	0,589	0,592	0,003	0,083	0,589	0,377	-0,212
4	Zona do suporte	Borda suporte	+	0,083	2,079	1,336	0,297	0,589	0,592	0,003	0,083	0,589	0,377	-0,212
9	Zona suporte Esq-baixo	Borda suporte	-	0,083	2,079	1,336	0,297	0,589	0,592	0,003	0,083	0,589	0,377	-0,212
13	Zona travessa Tunel esq.	Borda travessa esq.	+	0,083	2,079	1,336	0,297	0,589	0,592	0,003	0,083	0,589	0,377	-0,212
17	Borda travessa dir.	Zona travessa Tunel dir.	+	0,083	2,079	1,336	0,297	0,589	0,592	0,003	0,083	0,589	0,377	-0,212
20	Zona interior tunel (suporte)	Borda suporte dir.	+	0,083	2,079	1,336	0,297	0,589	0,592	0,003	0,083	0,589	0,377	-0,212
22	Zona de contacto suporte - L	Superfície xz L	-	0,083	2,079	1,336	0,297	0,589	0,592	0,003	0,083	0,589	0,377	-0,212
TOTAL				0,580	14,550	9,335	2,080	4,124	4,142	0,018	0,580	4,124	2,642	-1,482
Estatístico (Nominal do CAD)														
				Nominal	Tolerância	Max	Min							
				0,580	0,589	0,875	0,285							
				0,000	0,589	0,295	-0,295							
				0,000	0,589	0,295	-0,295							
				0,000	0,589	0,295	-0,295							
				0,000	0,589	0,295	-0,295							
				0,000	0,589	0,295	-0,295							

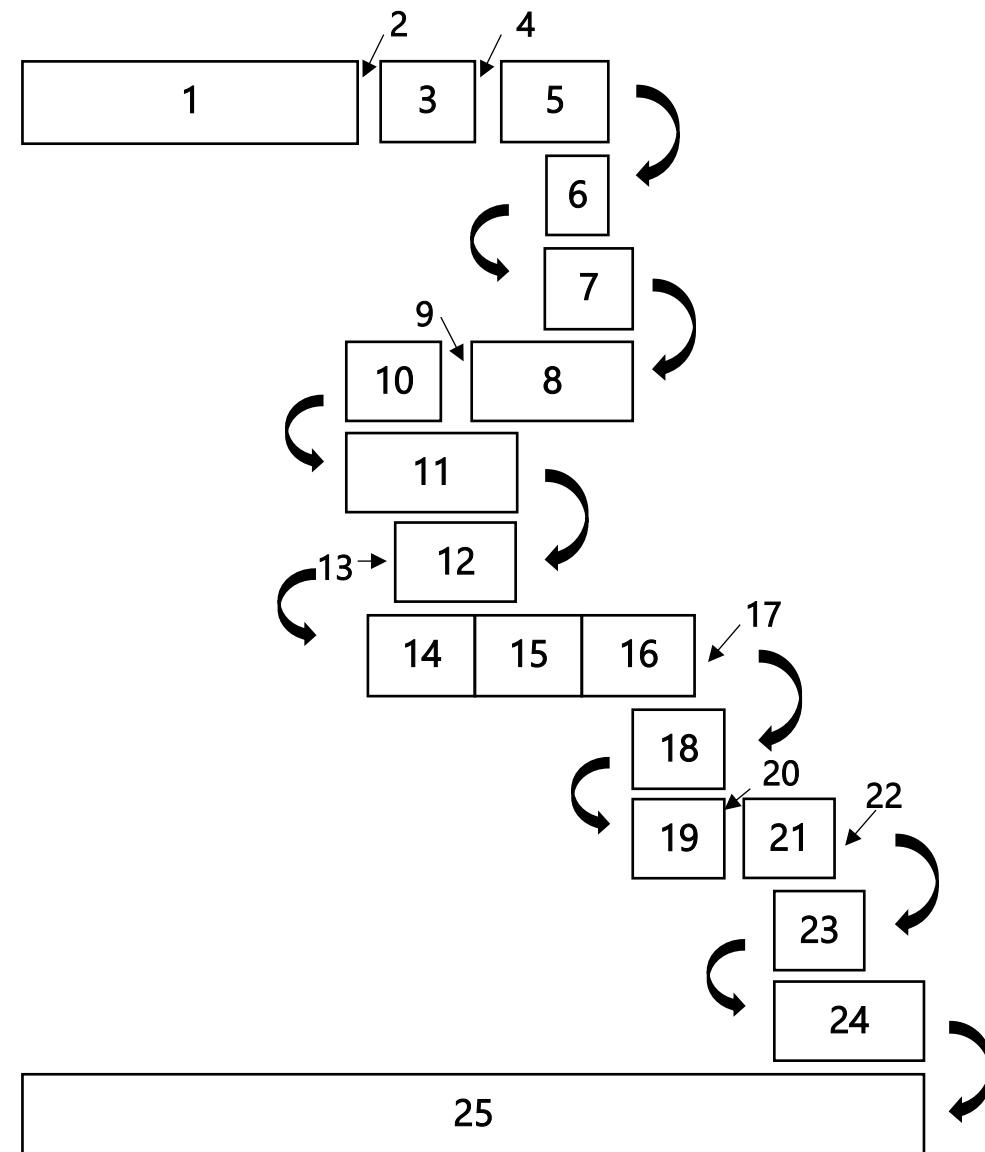


Figura 8.55 - Esquema em blocos de CENTY

○ CENTZ

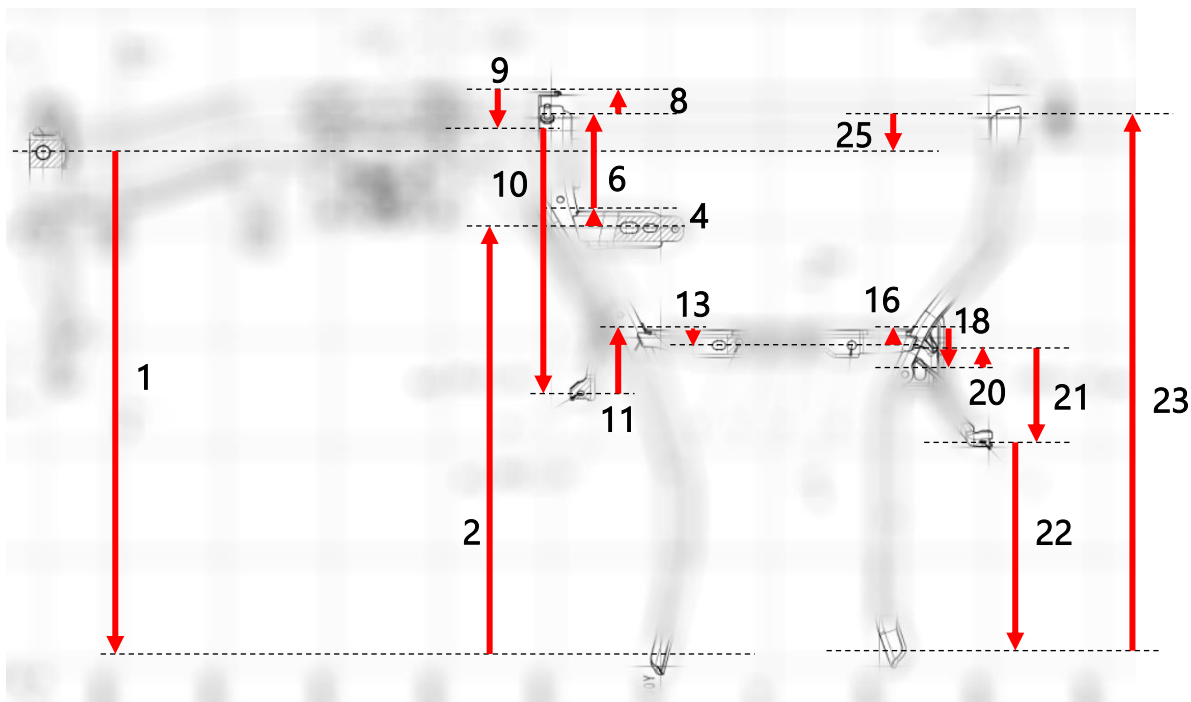


Figura 8.57 - Cadeia de cotas de CENTZ

Tabela 8.49 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (CENTZ)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância*2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	PNT_A	-	458,25	1,875	0,125	0,8	0,64	459,65	458,85	459,65	458,85	459,25
2	PNT_A	Furo esq. Suporte (m)	+	389,5	1,4	0,6	0,1	0,01	389,55	389,45	389,45	389,55	389,5
3	Furo esq. suporte (m)	Furo dir. suporte (m1)	+	0	0,05	-0,05	1	1	0,5	-0,5	-0,5	0,5	0
4	Furo dir. suporte (m1)	Borda "recorte"	+	13,57	0,5	-0,5	0,6	0,36	13,57	12,97	12,97	13,57	13,27
6	Zona suporte	Centro "recorte"	+	87,57	0	-0,6	0,6	0,36	87,87	87,27	87,27	87,87	87,57
8	Centro tubo peq.	Ponto contacto chapa	+	19,86	0,3	-0,3	0,8	0,64	20,26	19,46	19,46	20,26	19,86
9	Ponto contacto chapa	Centro tubo gr.	-	32,03	0,4	-0,4	0,8	0,64	32,43	31,63	32,43	31,63	32,03
10	Centro tubo gr.	Furo g	-	239,95	0,3	-0,3	0,6	0,36	240,25	239,65	240,25	239,65	239,95
11	Furo g	Zona tunel esq. travessa	+	63,07	0,125	-0,125	0,25	0,0625	63,195	62,945	62,945	63,195	63,07
13	Borda travessa esq.	Rasgo ref. C	-	19,26	0,425	-1,025	1,45	2,1025	19,685	18,235	19,685	18,235	18,96
14	Rasgo ref. C	Furo f	+	0,7	0,425	-0,425	0,85	0,7225	1,125	0,275	1,125	0,275	0,7
15	Furo f	Furo o	-	0,7	0,125	-0,125	0,25	0,0625	0,825	0,575	0,825	0,575	0,7
16	Furo o	Borda dir. travessa	+	16,82	0	-0,6	0,6	0,36	16,82	16,22	16,22	16,82	16,52
18	Zona tunel dir. travessa	Furo o	-	39,72	0,2	-0,2	0,4	0,16	39,92	39,52	39,92	39,52	39,72
19	Furo o	Furo o1	+	0,37	0,25	-0,25	0,5	0,25	0,62	0,12	0,12	0,62	0,37
20	Furo o1	Furo ref. B	+	29	0,125	-0,125	0,25	0,0625	29,125	28,875	28,875	29,125	29
21	Furo ref. B	Furo h	-	93,01	0,125	-0,125	0,25	0,0625	93,135	92,885	93,135	92,885	93,01
22	Furo h	PNT_B	-	190,59	0,125	-0,125	0,25	0,0625	190,715	190,465	190,715	190,465	190,59
23	PNT_B	Centro "recorte"	+	487,07	1,4	0,8	0,6	0,36	488,47	487,87	487,87	488,47	488,17
25	Centro tubo	RPS_001	-	32,25	0,625	-0,625	1,25	1,5625	32,875	31,625	32,875	31,625	32,25

Tabela 8.50 - Folgas da cadeia de cotas (CENTZ)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
5	Borda "contacto"	Zona suporte	+	-0,354	2,440	0,906	-1,534	-0,314	0,627	0,000	-0,628	-0,354	0,627	-0,040	-0,668
7	Centro "recorte"	Centro tubo	+	-0,354	2,440	0,906	-1,534	-0,314	0,627	0,000	-0,628	-0,354	0,627	-0,040	-0,668
12	Zona tunel esq. travessa	Borda travessa esq.	+	-0,354	2,440	0,906	-1,534	-0,314	0,627	0,000	-0,628	-0,354	0,627	-0,040	-0,668
17	Borda dir. travessa	Zona tunel dir. travessa	+	-0,354	2,440	0,906	-1,534	-0,314	0,627	0,000	-0,628	-0,354	0,627	-0,040	-0,668
24	Centro "recorte"	Centro tubo	+	-0,354	2,440	0,906	-1,534	-0,314	0,627	0,000	-0,628	-0,354	0,627	-0,040	-0,668
TOTAL				-1,770	12,200	4,530	-7,670	-1,570	3,137	-0,002	-3,138	-1,770	3,137	-0,202	-3,338
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	0,627	0,314	-0,314								
				0,140	0,627	0,454	-0,174								
				0,000	0,627	0,314	-0,314								
				0,000	0,627	0,314	-0,314								
				0,070	0,627	0,384	-0,244								

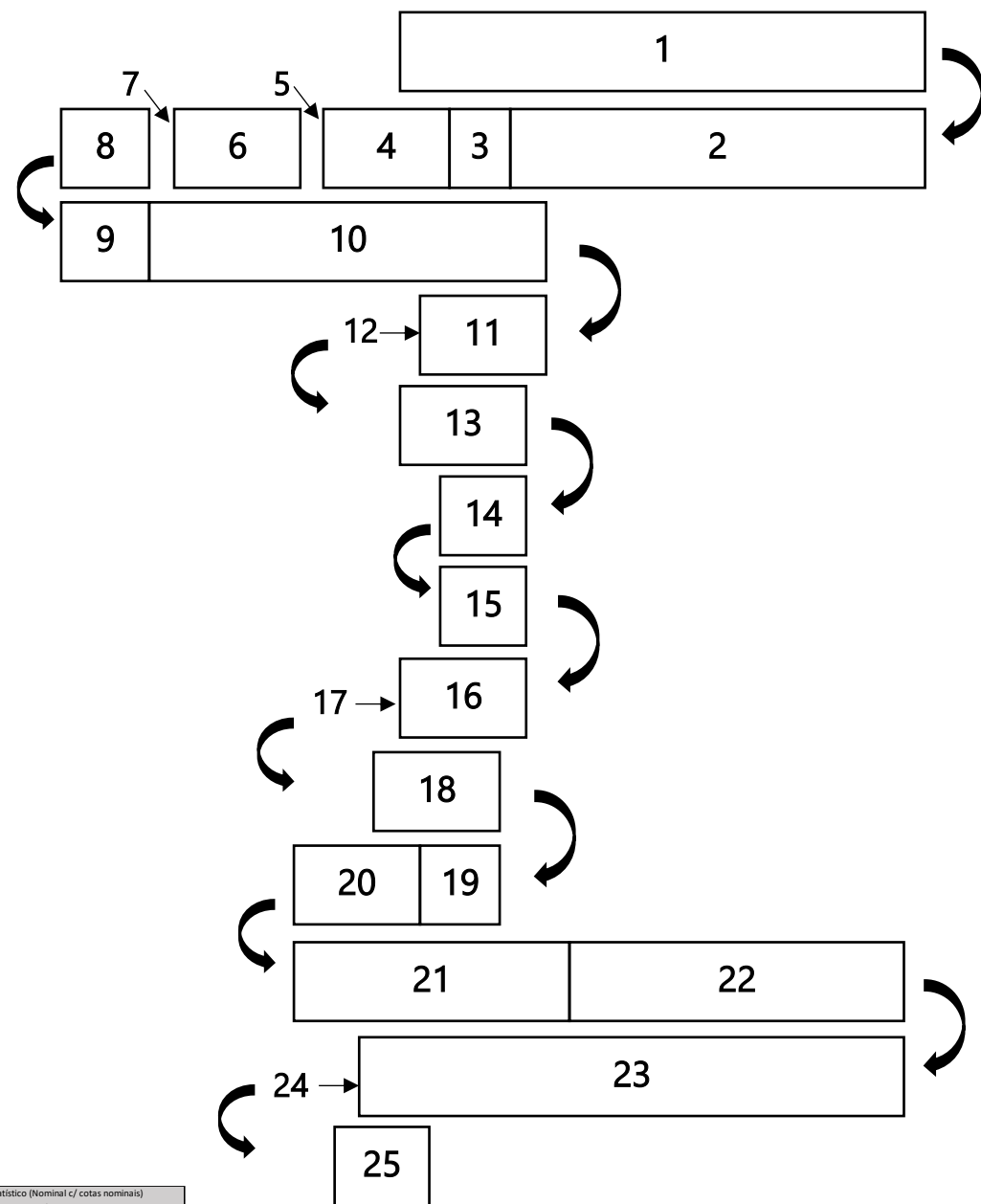


Figura 8.56 - Esquema em blocos de CENTZ

○ CENTX

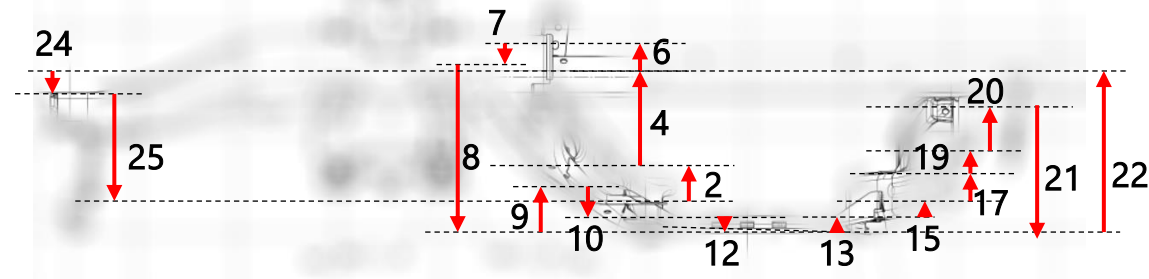


Figura 8.58 - Cadeia de cotas de CENTX

Tabela 8.51 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (CENTX)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância				Limites		Casos limite				Média
					Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância*2	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga			
1	Furo suporte esq. (m)	Furo suporte dir. (m1)	+	0	0,3	-0,3	0,6	0,36	0,3	-0,3	-0,3	0,3	0		
2	Furo suporte dir. (m1)	Borda suporte	+	24,98	0,5	-0,5	1	1	25,48	24,48	24,48	25,48	24,98		
4	Zona suporte	Centro "recorte"	+	100,07	0	-0,6	0,6	0,36	100,07	99,47	99,47	100,07	99,77		
6	Centro tubo peq.	Contacto chapa	+	20,01	0,3	-0,3	0,6	0,36	20,31	19,71	19,71	20,31	20,01		
7	Contacto chapa	Centro tubo gr.	-	14,31	0,2	-0,2	0,4	0,16	14,51	14,11	14,51	14,11	14,31		
8	Centro tubo gr.	PNT_A	-	137,45	0,125	-0,125	0,25	0,0625	137,575	137,325	137,575	137,325	137,45		
9	PNT_A	Furo g	+	75,88	0,125	-0,125	0,25	0,0625	76,005	75,755	75,755	76,005	75,88		
10	Furo g	Zona tunel travessa esq.	+	85,48	0,3	-0,3	0,6	0,36	85,78	85,18	85,78	85,18	85,48		
12	Borda travessa esq.	Face travessa	-	7,28	0	-0,6	0,6	0,36	7,28	6,68	7,28	6,68	6,98		
13	Face travessa	Borda travessa dir.	+	9,13	0	-0,6	0,6	0,36	9,13	8,53	8,53	9,13	8,83		
15	Zona tunel travessa dir.	Interior tunel	+	1,06	0,2	-0,2	0,4	0,16	1,26	0,86	0,86	1,26	1,06		
17	Borda suporte	Zona traseira tunel	+	44,69	0	-0,6	0,6	0,36	44,69	44,09	44,09	44,69	44,39		
19	Borda suporte	Furo ref. B	+	22,13	0,125	-0,125	0,25	0,0625	22,255	22,005	22,005	22,255	22,13		
20	Furo ref. B	Furo h	+	36,82	0,125	-0,125	0,25	0,0625	36,945	36,695	36,695	36,945	36,82		
21	Furo h	PNT_B	-	96,83	0,125	-0,125	0,25	0,0625	96,955	96,705	96,955	96,705	96,83		
22	PNT_B	Centro "recorte"	+	131,46	1,4	0,8	0,6	0,36	132,86	132,26	132,26	132,86	132,56		
24	Centro tubo peq.	RPS_001	-	15,5	0,5	-0,5	1	1	16	15	16	15	15,5		
25	RPS_001	Furo suporte esq. (m)	-	109,5	0,6	-0,6	1,2	1,44	110,1	108,9	110,1	108,9	109,5		

Tabela 8.52 - Folgas da cadeia de cotas (CENTX)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
3	Borda suporte	Zona do suporte	+	0,017	1,436	0,664	-0,772	-0,054	0,377	0,134	-0,243	0,017	0,377	0,205	-0,171
5	Centro "recorte"	Centro tubo peq.	+	0,017	1,436	0,664	-0,772	-0,054	0,377	0,134	-0,243	0,017	0,377	0,205	-0,171
11	Zona travessa esq.	Borda travessa esq.	+	0,017	1,436	0,664	-0,772	-0,054	0,377	0,134	-0,243	0,017	0,377	0,205	-0,171
14	Borda travessa dir.	Zona tunel travessa dir.	+	0,017	1,436	0,664	-0,772	-0,054	0,377	0,134	-0,243	0,017	0,377	0,205	-0,171
16	Interior tunel	Borda suporte	+	0,017	1,436	0,664	-0,772	-0,054	0,377	0,134	-0,243	0,017	0,377	0,205	-0,171
18	Zona traseira tunel	Borda suporte	+	0,017	1,436	0,664	-0,772	-0,054	0,377	0,134	-0,243	0,017	0,377	0,205	-0,171
23	Centro "recorte"	Centro tubo peq.	+	0,017	1,436	0,664	-0,772	-0,054	0,377	0,134	-0,243	0,017	0,377	0,205	-0,171
TOTAL				0,120	10,050	4,645	-5,405	-0,380	2,637	0,938	-1,698	0,120	2,637	1,438	-1,198
				Estatístico (Nominal do CAD)				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
								0,000	0,377	0,188	-0,188	0,000	0,377	0,188	-0,188
								0,000	0,377	0,188	-0,188	0,000	0,377	0,188	-0,188
								0,000	0,377	0,188	-0,188	0,000	0,377	0,188	-0,188
								0,000	0,377	0,188	-0,188	0,000	0,377	0,188	-0,188

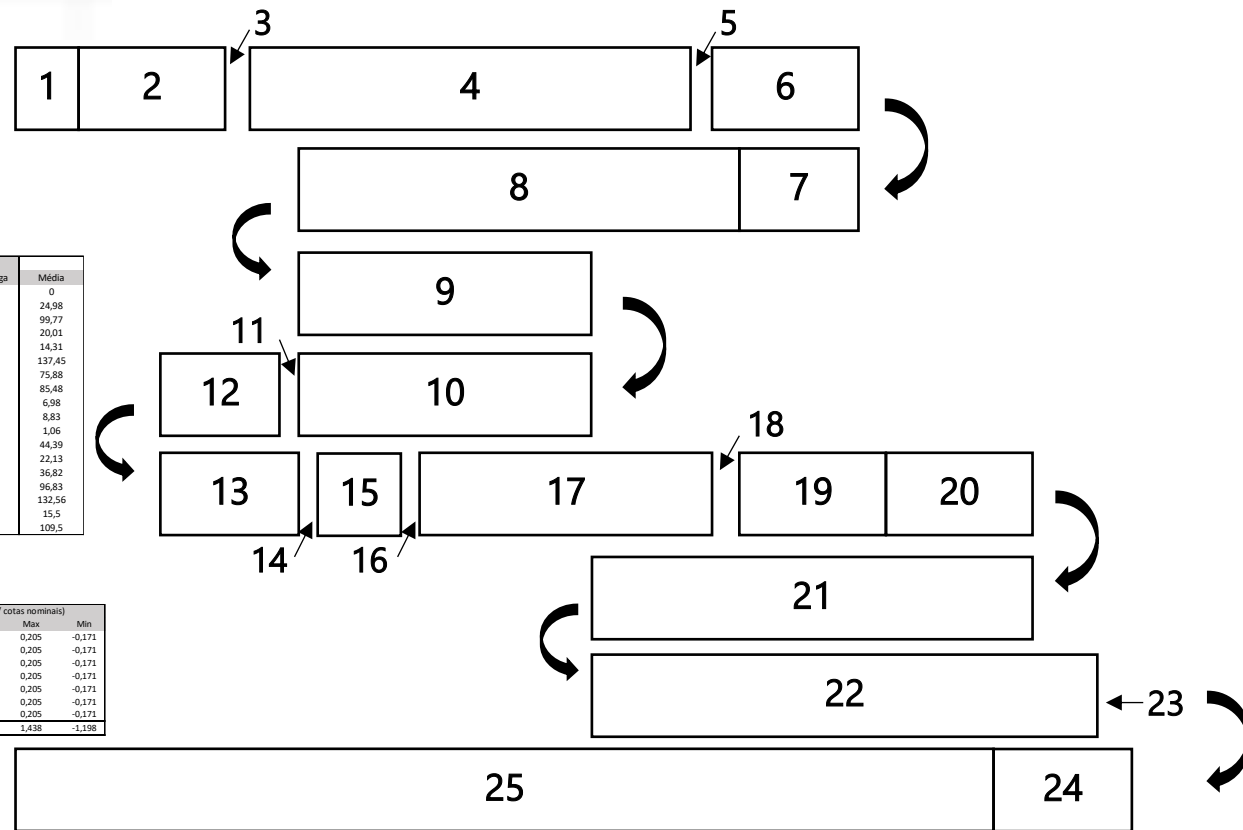


Figura 8.59 - Esquema em blocos de CENTX

○ SPESY

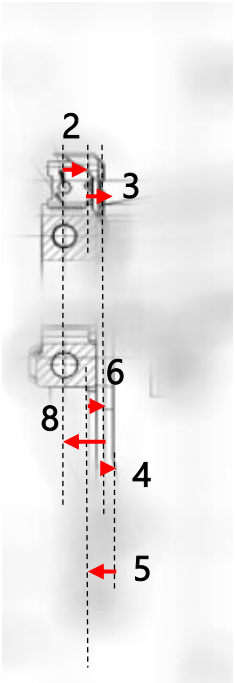


Figura 8.61 - Cadeia de cotas de SPESY

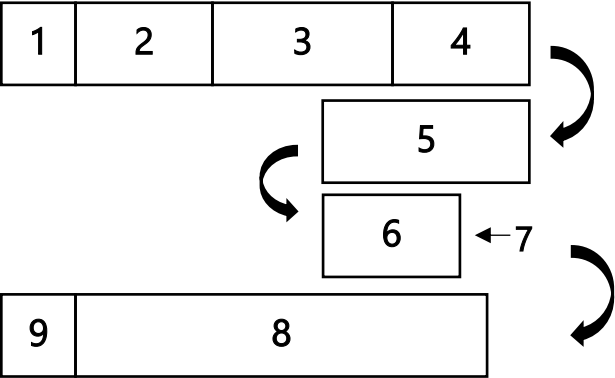


Figura 8.60 - Esquema em blocos de SPESY

Tabela 8.53 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (SPESY)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância				Limites		Casos limite		
					Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância^2	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	Média
1	RPS_001	Furo c1	+	0	1,3	-1,3	2,6	6,76	1,3	-1,3	-1,3	1,3	0
2	Furo c1	Furo c	+	4,8	0,975	-0,975	1,95	3,8025	5,775	3,825	3,825	5,775	4,8
3	Furo c	Ref. A1	+	12,5	0,275	-0,275	0,55	0,3025	12,775	12,225	12,225	12,775	12,5
4	Ref. A1	Ref. A2	+	3	0,3	-0,3	0,6	0,36	3,3	2,7	2,7	3,3	3
5	Ref. A2	Ref. A3	-	6	0,3	-0,3	0,6	0,36	6,3	5,7	6,3	5,7	6
6	Ref. A3	Zona contacto RPS_005	+	3	0,3	-0,3	0,6	0,36	3,3	2,7	2,7	3,3	3
8	Borda peça RPS_005	Furo RPS_005	-	17,3	0,325	-0,725	1,05	1,1025	17,625	16,575	17,625	16,575	17,1
9	Furo RPS_005	RPS_001	+	0	0,125	-0,125	0,25	0,0625	0,125	-0,125	-0,125	0,125	0

Tabela 8.54 - Folga da cadeia de cotas (SPESY)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
7	Zona contacto RPS_005	Borda peça RPS_005	+	0,000	8,200	3,900	-4,300	-0,200	3,621	1,610	-2,010	0,000	3,621	1,810	-1,810
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	3,621	1,810	-3,621								

○ SPESZ

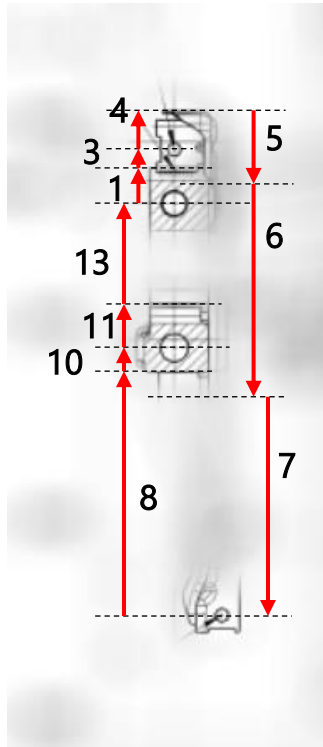


Figura 8.62 - Cadeia de cotas de SPESZ

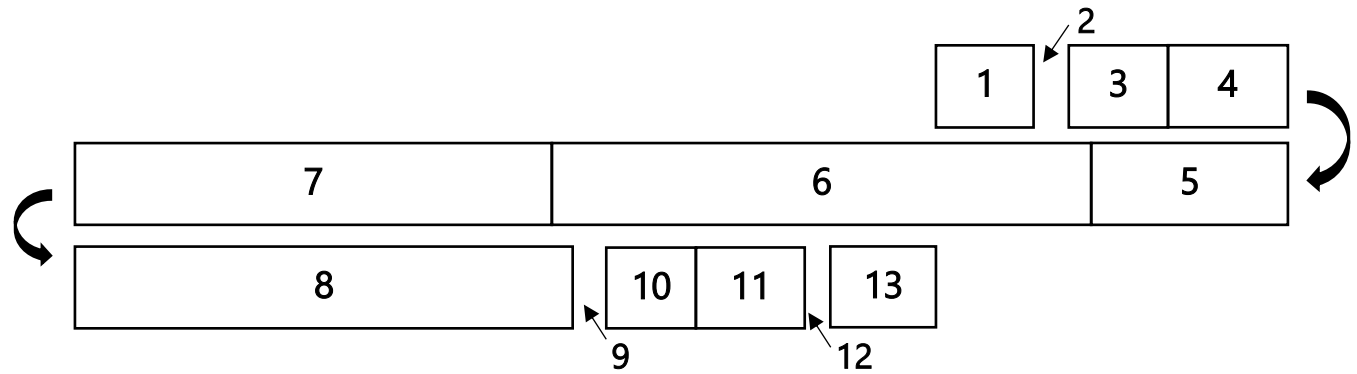


Figura 8.63 - Esquema em blocos de SPESZ

Tabela 8.56 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (SPESZ)

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância	Tolerância*2	Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Zona contacto superior	+	15,76	0,125	-0,125	0,25	0,0625	15,885	15,635	15,635	15,885	15,76
3	Borda peça superior	Furo c1	+	11,49	0,275	-0,875	1,15	1,3225	11,765	10,615	10,615	11,765	11,19
4	Furo c1	Furo c	+	19,5	0,3	-0,3	0,6	0,36	19,8	19,2	19,2	19,8	19,5
5	Furo c	Furo ref. B	-	28,19	0,125	-0,125	0,25	0,0625	28,315	28,065	28,315	28,065	28,19
6	Furo ref. B	Rasgo ref. C	-	118,27	0,125	-0,125	0,25	0,0625	118,395	118,145	118,395	118,145	118,27
7	Rasgo ref. C	Furo c2	-	108,04	0,675	-0,675	1,35	1,8225	108,715	107,365	108,715	107,365	108,04
8	Furo c2	Borda inferior	+	124,66	0	-0,6	0,6	0,36	124,66	124,06	124,06	124,66	124,36
10	Zona inferior peça RPS_005	RPS_005	+	10,25	0,125	-0,125	0,25	0,0625	10,375	10,125	10,125	10,375	10,25
11	RPS_005	Borda superior peça RPS_005	+	20,56	0	-0,4	0,4	0,16	20,56	20,16	20,16	20,56	20,36
13	Tubo ROHR	RPS_001	+	52,19	0,3	-0,3	0,6	0,36	52,49	51,89	51,89	52,49	52,19

Tabela 8.55 - Folgas da cadeia de cotas (SPESZ)

#	De	A	Direção	Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)			
				Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min
2	Zona contacto superior	Borda peça superior	+	0,030	1,900	1,247	-0,653	0,297	0,718	0,655	-0,062	0,030	0,718	0,389	-0,329
9	Borda inferior	Zona inferior peça RPS_005	-	0,030	1,900	1,247	-0,653	0,297	0,718	0,655	-0,062	0,030	0,718	0,389	-0,329
12	Borda superior peça RPS_005	Tubo ROHR	+	0,030	1,900	1,247	-0,653	0,297	0,718	0,655	-0,062	0,030	0,718	0,389	-0,329
TOTAL				0,090	5,700	3,740	-1,960	0,890	2,153	1,966	-0,186	0,090	2,153	1,166	-0,986
Estatístico (Nominal do CAD)															
				Nominal	Tolerância	Max	Min								
				0,000	0,718	0,359	-0,359								
				0,000	0,718	0,359	-0,359								
				0,000	0,718	0,359	-0,359								

○ SPESX

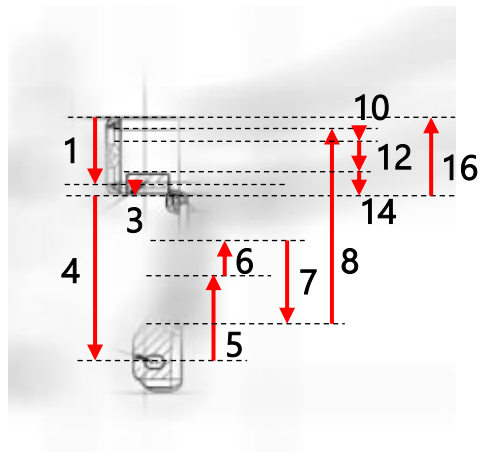


Figura 8.65 - Cadeia de cotas de SPESX

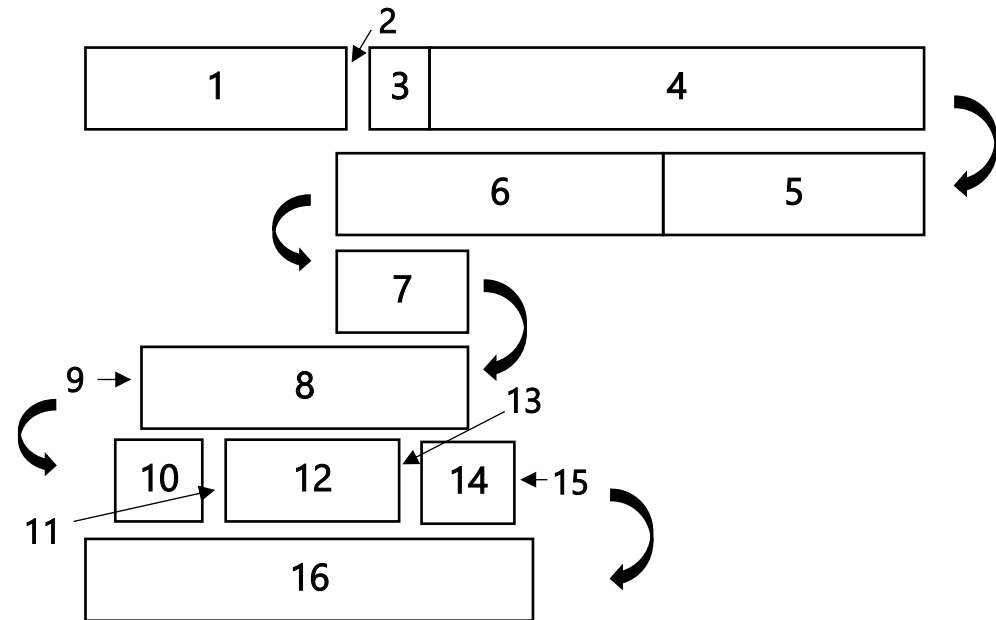


Figura 8.64 - Esquema em blocos de SPESX

Tabela 8.57 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas (SPESX)

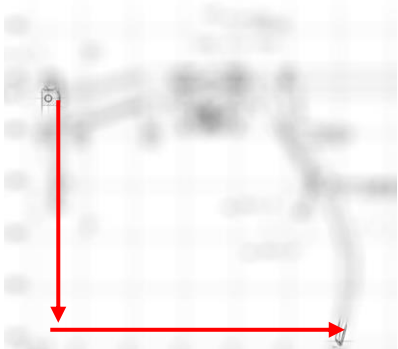
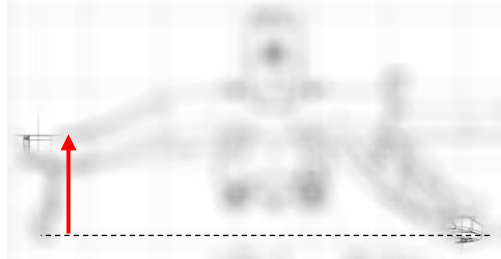

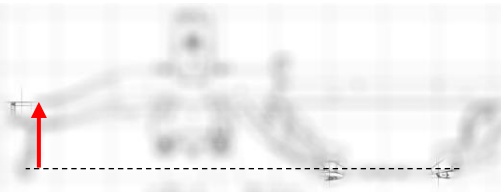
#	De A		Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância		Tolerância		Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior			Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Zona contacto superior	+	36,51	0,2	-0,2	0,4	0,16	36,71	36,31	36,31	36,71	36,51
3	Borda peça superior	Furo c1	+	1,49	0	-0,6	0,6	0,36	1,49	0,89	0,89	1,49	1,19
4	Furo c1	Furo c	+	84,5	0,3	-0,3	0,6	0,36	84,8	84,2	84,2	84,8	84,5
5	Furo c	Furo ref. B	-	39,8	0,675	-0,675	1,35	1,8225	40,475	39,125	40,475	39,125	39,8
6	Furo ref. B	Furo ref. C	-	47,77	0,25	-0,25	0,5	0,25	48,02	47,52	48,02	47,52	47,77
7	Furo ref. C	Furo c2	+	12,87	0,3	-0,3	0,6	0,36	13,17	12,57	12,57	13,17	12,87
8	Furo c2	Borda orelha	-	45,6	0	-0,6	0,6	0,36	45,6	45	45,6	45	45,3
10	Superfície peça RPS_005	Borda trás peça RPS_005	+	2,96	0	-0,4	0,4	0,16	2,96	2,56	2,56	2,96	2,76
12	Tubo trás	Tubo frente	+	27,68	0,6	-0,6	1,2	1,44	28,28	27,08	27,08	28,28	27,68
14	Borda frente peça RPS_005	Borda contacto tubo	+	5,16	0	-1	1	1	5,16	4,16	4,16	5,16	4,66
16	Superfície tubo	RPS_001	-	38	0,8	-0,8	1,6	2,56	38,8	37,2	38,8	37,2	38

Tabela 8.58 - Folgas da cadeia de cotas (SPESX)

				Intermutabilidade Total				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)				
#	De	A	Direção	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	Nominal	Tolerância	Max	Min	
2	Zona contacto superior	Borda peça superior	+	0,000	2,950	1,708	-1,242	0,233	0,991	0,729	-0,262	0,000	0,991	0,495	-0,495	
9	Borda orelha	Superfície peça RPS_005	-	0,000	2,950	1,708	-1,242	0,233	0,991	0,729	-0,262	0,000	0,991	0,495	-0,495	
11	Borda trás peça RPS_005	Tubo trás	+	0,000	2,950	1,708	-1,242	0,233	0,991	0,729	-0,262	0,000	0,991	0,495	-0,495	
13	Tubo frente	Borda frente peça RPS_005	+	0,000	2,950	1,708	-1,242	0,233	0,991	0,729	-0,262	0,000	0,991	0,495	-0,495	
15	Borda contacto tubo	Superfície tubo	-	0,000	2,950	1,708	-1,242	0,233	0,991	0,729	-0,262	0,000	0,991	0,495	-0,495	
			TOTAL	0,000	8,850	5,125	-3,725	0,700	2,972	2,186	-0,786	0,000	2,972	1,486	-1,486	
											Estatístico (Nominal do CAD)					
											Nominal	Tolerância	Max	Min		
											0,000	0,991	0,495	-0,495		
											0,000	0,991	0,495	-0,495		
											0,000	0,991	0,495	-0,495		
											0,000	0,991	0,495	-0,495		
											0,000	0,991	0,495	-0,495		

9. APÊNDICE 2

Tabela 9.1 - Nomenclatura e posições a verificar

Folha Excel	Código	Direção	Desenho (Posições a verificar)	
R_PTA	RPTAY	Y		
	RPTAZ	Z		
	RPTAX	X		
R_PTB	RPTBY	Y		
	RPTBZ	Z		
	RPTBX	X		

○ RPTAY

Tabela 9.2 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância				Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância^2	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Borda tubo ROHR	+	452,97	1,125	-1,125	2,25	5,0625	454,095	451,845	451,845	454,095	452,97
2		Folga	+	0,58	0,277	-0,277	0,554	0,307	0,857	0,303	0,303	0,857	0,580
3	Topo tunel	Zona do suporte	+	34,53	0,6	-0,6	1,2	1,44	35,13	33,93	33,93	35,13	34,53
5	Borda suporte	Referência B	+	89,61	0,125	-0,125	0,85	0,7225	89,735	88,885	88,885	89,735	89,31
6	Referência B	Furo esq. suporte (m)	-	42	0,275	-0,275	0,55	0,3025	42,275	41,725	42,275	41,725	42
7	Furo esq. suporte (m)	Furo dir. suporte (m1)	+	19	0,3	-0,3	0,6	0,36	19,3	18,7	18,7	19,3	19
8	Furo dir. suporte (m1)	Zona suporte Esq-baixo	-	50,88	0,125	-0,125	0,25	0,0625	51,005	50,755	51,005	50,755	50,88
10	Borda suporte	Furo g	-	12,57	0,75	-0,75	1,5	2,25	13,32	11,82	13,32	11,82	12,57
11	Furo g	Zona travessa Tunel esq.	+	57,88	0,425	-0,425	0,85	0,7225	58,305	57,455	57,455	58,305	57,88
13	Borda travessa esq.	Furo f	+	114,87	0,3	-0,9	1,2	1,44	115,17	113,97	113,97	115,17	114,57
14	Furo f	Furo o (ref)	+	75,01	0,25	-0,25	0,5	0,25	75,26	74,76	74,76	75,26	75,01
15	Furo o (ref)	Borda travessa dir.	+	57,31	0	-0,6	0,6	0,36	57,31	56,71	56,71	57,31	57,01
17	Zona travessa Tunel dir.	Zona interior tunel (suporte)	+	0,47	0,3	-0,3	0,6	0,36	0,77	0,17	0,17	0,77	0,47
19	Borda suporte dir.	Zona de contacto suporte - L	+	16,75	0	-1,2	1,2	1,44	16,75	15,55	15,55	16,75	16,15
21	Superfície xz L	Rasgo o1	-	12,07	0,2	-0,2	0,4	0,16	12,27	11,87	12,27	11,87	12,07
22	Rasgo o1	Furo h	+	57,15	0,125	-0,125	0,25	0,0625	57,275	57,025	57,025	57,275	57,15
23	Furo h	PNT_B	-	87,72	0,125	-0,125	0,25	0,0625	87,845	87,595	87,845	87,595	87,72
24	PNT_B	PNT_A	-	202,37	0	0	0	0	202,37	202,37	202,37	202,37	202,37

Tabela 9.3 - Cota a verificar (tolerâncias a amarelo)

				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)				Tol do desenho	
25	PNT_A	RPS_001	-	-567,020	3,920	-565,060	-568,980	-568,520	3,920	-566,560	-570,480	1,2	0,6
												-0,6	-0,6

○ RPTAZ

Tabela 9.4 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas

#					Limites de tolerância						Limites		Casos limite		Média
	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância*2	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Furo esq. Suporte (m)	-	68,75	0,475	-0,475	0,1	0,01	68,8	68,7	68,8	68,7	68,8	68,7	68,75
2	Furo esq. suporte (m)	Furo dir. suporte (m1)	+	0	0,05	-0,05	1	1	0,5	-0,5	0,5	-0,5	-0,5	0,5	0
3	Furo dir. suporte (m1)	Borda "contacto"	+	13,57	0,5	-0,5	0,6	0,36	13,57	12,97	12,97	12,97	12,97	13,57	13,27
5	Zona suporte	Centro "recorte"	+	87,57	0	-0,6	0,6	0,36	87,87	87,27	87,87	87,27	87,27	87,87	87,57
6		Folga	+	0,14	0,276	-0,276	0,8	0,64	0,54	-0,26	-0,26	0,54	-0,26	0,54	0,14
7	Centro tubo peq.	Ponto contacto chapa	+	19,86	0,3	-0,3	0,8	0,64	20,26	19,46	19,46	20,26	19,46	20,26	19,86
8	Ponto contacto chapa	Centro tubo gr.	-	32,03	0,4	-0,4	0,8	0,64	32,43	31,63	32,43	31,63	32,43	31,63	32,03
9	Centro tubo gr.	Furo g	-	239,95	0,3	-0,3	0,6	0,36	240,25	239,65	240,25	239,65	240,25	239,65	239,95
10	Furo g	Zona tunel esq. travessa	+	63,07	0,125	-0,125	0,25	0,0625	63,195	62,945	62,945	63,195	62,945	63,195	63,07
12	Borda travessa esq.	Rasgo ref. C	-	19,26	0,425	-1,025	1,45	2,1025	19,685	18,235	19,685	18,235	19,685	18,235	18,96
13	Rasgo ref. C	Furo f	+	0,7	0,425	-0,425	0,85	0,7225	1,125	0,275	0,275	1,125	0,275	1,125	0,7
14	Furo f	Furo o	-	0,7	0,125	-0,125	0,25	0,0625	0,825	0,575	0,825	0,575	0,825	0,575	0,7
15	Furo o	Borda dir. travessa	+	16,82	0	-0,6	0,6	0,36	16,82	16,22	16,22	16,82	16,22	16,82	16,52
17	Zona tunel dir. travessa	Furo o	-	39,72	0,2	-0,2	0,4	0,16	39,92	39,52	39,92	39,52	39,92	39,52	39,72
18	Furo o	Furo o1	+	0,37	0,25	-0,25	0,5	0,25	0,62	0,12	0,12	0,62	0,12	0,62	0,37
19	Furo o1	Furo ref. B	+	29	0,125	-0,125	0,25	0,0625	29,125	28,875	28,875	29,125	28,875	29,125	29
20	Furo ref. B	Furo h	-	93,01	0,125	-0,125	0,25	0,0625	93,135	92,885	93,135	92,885	93,135	92,885	93,01
21	Furo h	Centro "recorte"	+	295,14	1,4	0,8	0,6	0,36	296,54	295,94	295,94	296,54	295,94	296,54	296,24
22		Folga	+	0,07	0,276	-0,276	0,553	0,306	0,346	-0,206	-0,206	0,346	-0,206	0,346	0,070
23	Centro tubo	PNT_B	-	487	0,125	-0,125	0,25	0,0625	487,125	486,875	487,125	486,875	487,125	486,875	487
24	PNT_B	PNT_A	-	3,12	0,125	-0,125	0,25	0,0625	3,245	2,995	3,245	2,995	3,245	2,995	3,12

Tabela 9.5 - Cota a verificar (tolerâncias a amarelo)

				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)				Tol do desenho	
25	PNT_A	RPS_001	+	456,430	2,930	457,895	454,965	457,230	2,930	458,695	455,765	2	0

○ RPTAX

Tabela 9.6 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas

#					Limites de tolerância						Limites		Casos limite		Média
	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância*2	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Furo suporte esq. (m)	-	109,5	0,6	-0,6	1,2	1,44	110,1	108,9	110,1	108,9	110,1	108,9	109,5
2	Furo suporte esq. (m)	Furo suporte dir. (m1)	+	0	0,3	-0,3	0,6	0,36	0,3	-0,3	-0,3	0,3	-0,3	0,3	0
3	Furo suporte dir. (m1)	Borda suporte	+	24,98	0,5	-0,5	1	1	25,48	24,48	24,48	25,48	24,48	25,48	24,98
5	Zona suporte	Centro "recorte"	+	100,07	0	-0,6	0,6	0,36	100,07	99,47	99,47	100,07	99,47	100,07	99,77
7	Centro tubo peq.	Contacto chapa	+	20,01	0,3	-0,3	0,6	0,36	20,31	19,71	19,71	20,31	19,71	20,31	20,01
8	Contacto chapa	Centro tubo gr.	-	14,31	0,2	-0,2	0,4	0,16	14,51	14,11	14,51	14,11	14,51	14,11	14,31
9	Centro tubo gr.	Furo g	-	61,57	0,125	-0,125	0,25	0,0625	61,695	61,445	61,695	61,445	61,695	61,445	61,57
10	Furo g	Zona tunel travessa esq.	-	85,48	0,3	-0,3	0,6	0,36	85,78	85,18	85,78	85,18	85,78	85,18	85,48
12	Borda travessa esq.	Face travessa	-	7,28	0	-0,6	0,6	0,36	7,28	6,68	7,28	6,68	7,28	6,68	6,98
13	Face travessa	Borda travessa dir.	+	9,13	0	-0,6	0,6	0,36	9,13	8,53	8,53	9,13	8,53	9,13	8,83
15	Zona tunel travessa dir.	Interior tunel	+	1,06	0,2	-0,2	0,4	0,16	1,26	0,86	0,86	1,26	0,86	1,26	1,06
17	Borda suporte	Zona traseira tunel	+	44,69	0	-0,6	0,6	0,36	44,69	44,09	44,09	44,69	44,09	44,69	44,39
19	Borda suporte	Furo ref. B	+	22,13	0,125	-0,125	0,25	0,0625	22,255	22,005	22,005	22,255	22,005	22,255	22,13
20	Furo ref. B	Furo h	+	36,82	0,125	-0,125	0,25	0,0625	36,945	36,695	36,695	36,945	36,695	36,945	36,82
21	Furo h	Centro "recorte"	+	33,95	0,125	-0,125	0,25	0,0625	34,075	33,825	33,825	34,075	33,825	34,075	33,95
23	Centro tubo peq.	PNT_B	-	131,5	0,3	-0,3	0,6	0,36	131,8	131,2	131,8	131,2	131,8	131,2	131,5
24	PNT_B	PNT_A	+	0,13	0,3	-0,3	0,6	0,36	0,43	-0,17	-0,17	0,43	-0,17	0,43	0,13

Tabela 9.7 - Cota a verificar (tolerâncias a amarelo)

				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)				Tol do desenho	
25	PNT_A	RPS_001	+	117,270	2,110	118,325	116,215	116,670	2,110	117,725	115,615	2	-1

○ RPTBY

Tabela 9.8 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância				Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância^2	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Borda tubo ROHR	+	452,97	1,125	-1,125	2,25	5,0625	454,095	451,845	451,845	454,095	452,97
2		Folga	+	0,58	0,274	-0,274	0,549	0,301	0,854	0,306	0,306	0,854	0,580
3	Topo tunel	Zona do suporte	+	34,53	0,6	-0,6	1,2	1,44	35,13	33,93	33,93	35,13	34,53
5	Borda suporte	Referência B	+	89,61	0,125	-0,725	0,85	0,7225	89,735	88,885	88,885	89,735	89,31
6	Referência B	Furo eq. suporte (m)	-	42	0,275	-0,275	0,55	0,3025	42,275	41,725	42,275	41,725	42
7	Furo eq. suporte (m)	Furo dir. suporte (m1)	+	19	0,3	-0,3	0,6	0,36	19,3	18,7	18,7	19,3	19
8	Furo dir. suporte (m1)	Zona suporte Esq-baixo	-	50,88	0,125	-0,125	0,25	0,0625	51,005	50,755	51,005	50,755	50,88
10	Borda suporte	Furo g	-	12,57	0,75	-0,75	1,5	2,25	13,32	11,82	13,32	11,82	12,57
11	Furo g	PNT_A	+	77,27	0,125	-0,125	0,25	0,0625	77,395	77,145	77,145	77,395	77,27
12	PNT_A	Zona travessa Tunel eq.	-	19,39	0,3	-0,3	0,6	0,36	19,69	19,09	19,69	19,09	19,39
14	Borda travessa eq.	Furo f	+	114,87	0,3	-0,9	1,2	1,44	115,17	113,97	113,97	115,17	114,57
15	Furo f	Furo o (ref)	+	75,01	0,25	-0,25	0,5	0,25	75,26	74,76	74,76	75,26	75,01
16	Furo o (ref)	Borda travessa dir.	+	57,31	0	-0,6	0,6	0,36	57,31	56,71	56,71	57,31	57,01
18	Zona travessa Tunel dir.	Zona interior tunel (suporte)	+	0,47	0,3	-0,3	0,6	0,36	0,77	0,17	0,17	0,77	0,47
20	Borda suporte dir.	Zona de contacto suporte - L	+	16,75	0	-1,2	1,2	1,44	16,75	15,55	15,55	16,75	16,15
22	Superfície xz L	Rasgo o1	-	12,07	0,2	-0,2	0,4	0,16	12,27	11,87	12,27	11,87	12,07
23	Rasgo o1	Furo h	+	57,15	0,125	-0,125	0,25	0,0625	57,275	57,025	57,025	57,275	57,15
24	Furo h	PNT_B	-	87,72	0,125	-0,125	0,25	0,0625	87,845	87,595	87,845	87,595	87,72

Tabela 9.9 - Cota a verificar (tolerâncias a amarelo)

				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)				Tol do desenho	
25	PNT_B	RPS_001	-	-769,390	3,881	-767,450	-771,330	-770,890	3,881	-768,950	-772,830	1,2	
												0,6	-0,6

○ RPTBZ

Tabela 9.10 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas

#	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Limites de tolerância				Limites		Casos limite		Média
					Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância^2	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	PNT_A	-	458,25	1,75	0,25	0,8	0,64	459,65	458,85	459,65	458,85	459,25
2	PNT_A	Furo eq. Suporte (m)	+	389,5	1,4	0,6	0,1	0,01	389,55	389,45	389,45	389,55	389,5
3	Furo eq. suporte (m)	Furo dir. suporte (m1)	+	0	0,05	-0,05	1	1	0,5	-0,5	-0,5	0,5	0
4	Furo dir. suporte (m1)	Borda "contacto"	+	13,57	0,5	-0,5	0,6	0,36	13,57	12,97	12,97	13,57	13,27
6	Zona suporte	Centro "recorte"	+	87,57	0	-0,6	0,6	0,36	87,87	87,27	87,27	87,87	87,57
7		Folga	+	0,14	0,313	-0,313	0,8	0,64	0,54	-0,26	-0,26	0,54	0,14
8	Centro tubo peq.	Ponto contacto chapa	+	19,86	0,3	-0,3	0,8	0,64	20,26	19,46	19,46	20,26	19,86
9	Ponto contacto chapa	Centro tubo gr.	-	32,03	0,4	-0,4	0,8	0,64	32,43	31,63	32,43	31,63	32,03
10	Centro tubo gr.	Furo g	-	239,95	0,3	-0,3	0,6	0,36	240,25	239,65	240,25	239,65	239,95
11	Furo g	Zona tunel eq. travessa	+	63,07	0,125	-0,125	0,25	0,0625	63,195	62,945	62,945	63,195	63,07
13	Borda travessa eq.	Rasgo ref. C	-	19,26	0,425	-1,025	1,45	2,1025	19,685	18,235	19,685	18,235	18,96
14	Rasgo ref. C	Furo f	+	0,7	0,425	-0,425	0,85	0,7225	1,125	0,275	0,275	1,125	0,7
15	Furo f	Furo o	-	0,7	0,125	-0,125	0,25	0,0625	0,825	0,575	0,825	0,575	0,7
16	Furo o	Borda dir. travessa	+	16,82	0	-0,6	0,6	0,36	16,82	16,22	16,22	16,82	16,52
18	Zona tunel dir. travessa	Furo o	-	39,72	0,2	-0,2	0,4	0,16	39,92	39,52	39,92	39,52	39,72
19	Furo o	Furo o1	+	0,37	0,25	-0,25	0,5	0,25	0,62	0,12	0,12	0,62	0,37
20	Furo o1	Furo ref. B	+	29	0,125	-0,125	0,25	0,0625	29,125	28,875	28,875	29,125	29
21	Furo ref. B	Furo h	-	93,01	0,125	-0,125	0,25	0,0625	93,135	92,885	93,135	92,885	93,01
22	Furo h	Centro "recorte"	+	295,14	1,4	0,8	0,6	0,36	296,54	295,94	295,94	296,54	296,24
23		Folga	+	0,07	0,313	-0,313	0,625	0,391	0,383	-0,243	-0,243	0,383	0,070
24	Centro tubo	PNT_B	-	487	0,625	-0,625	1,25	1,5625	487,625	486,375	487,625	486,375	487

Tabela 9.11 - Cota a verificar (tolerâncias a amarelo)

				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)				Tol do desenho	
25	PNT_B	RPS_001	+	454,310	3,288	455,954	452,666	454,110	3,288	455,754	452,466	2	0
												2	0

○ RPTBX

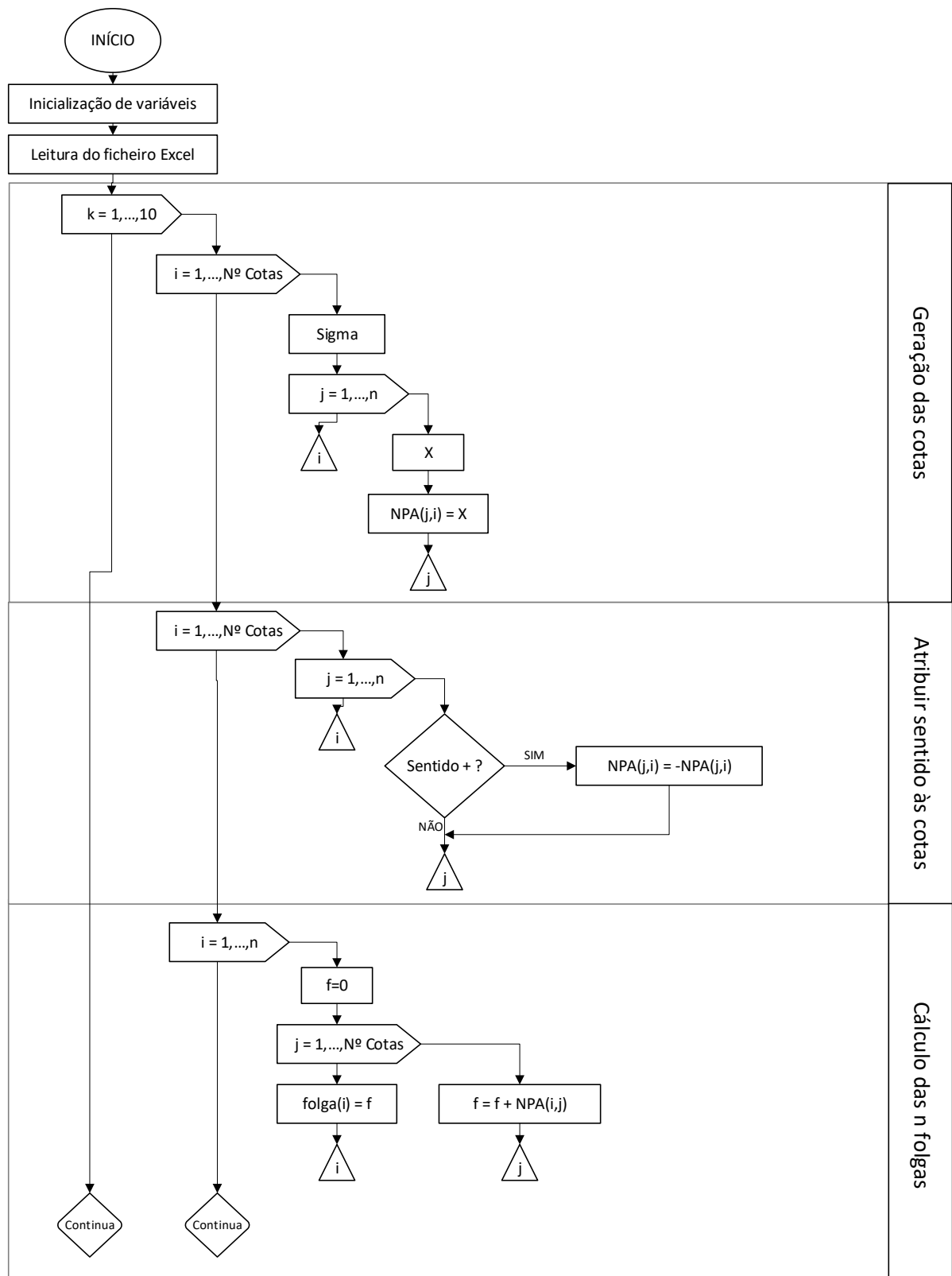
Tabela 9.12 - Cotas nominais e tolerâncias da cadeia de cotas

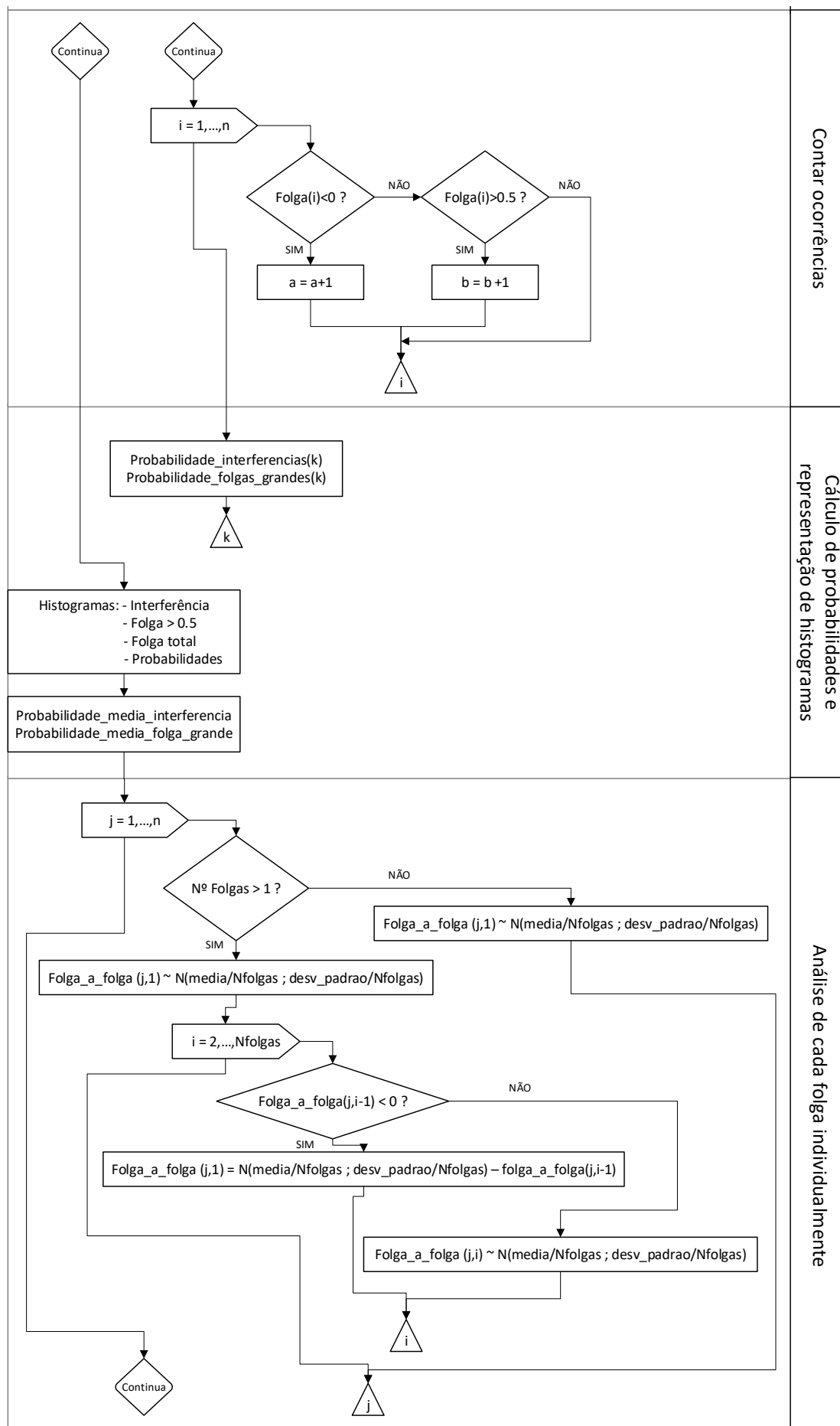
#					Limites de tolerância				Limites		Casos limite		Média
	De	A	Direção	Dimensão Nominal	Superior	Inferior	Tolerância	Tolerância^2	Superior	Inferior	Maior folga	Menor folga	
1	RPS_001	Furo suporte esq. (m)	-	109,5	0,6	-0,6	1,2	1,44	110,1	108,9	110,1	108,9	109,5
2	Furo suporte esq. (m)	Furo suporte dir. (m1)	+	0	0,3	-0,3	0,6	0,36	0,3	-0,3	-0,3	0,3	0
3	Furo suporte dir. (m1)	Borda suporte	+	24,98	0,5	-0,5	1	1	25,48	24,48	24,48	25,48	24,98
5	Zona suporte	Centro "recorte"	+	100,07	0	-0,6	0,6	0,36	100,07	99,47	99,47	100,07	99,77
7	Centro tubo peq.	Contacto chapa	+	20,01	0,3	-0,3	0,6	0,36	20,31	19,71	19,71	20,31	20,01
8	Contacto chapa	Centro tubo gr.	-	14,31	0,2	-0,2	0,4	0,16	14,51	14,11	14,51	14,11	14,31
9	Centro tubo gr.	PNT_A	-	137,45	0,125	-0,125	0,25	0,0625	137,575	137,325	137,575	137,325	137,45
10	PNT_A	Furo g	+	75,88	0,125	-0,125	0,25	0,0625	76,005	75,755	75,755	76,005	75,88
11	Furo g	Zona tunel travessa esq.	-	85,48	0,3	-0,3	0,6	0,36	85,78	85,18	85,78	85,18	85,48
13	Borda travessa esq.	Face travessa	-	7,28	0	-0,6	0,6	0,36	7,28	6,68	7,28	6,68	6,98
14	Face travessa	Borda travessa dir.	+	9,13	0	-0,6	0,6	0,36	9,13	8,53	8,53	9,13	8,83
16	Zona tunel travessa dir.	Interior tunel	+	1,06	0,2	-0,2	0,4	0,16	1,26	0,86	0,86	1,26	1,06
18	Borda suporte	Zona traseira tunel	+	44,69	0	-0,6	0,6	0,36	44,69	44,09	44,09	44,69	44,39
20	Borda suporte	Furo ref. B	+	22,13	0,125	-0,125	0,25	0,0625	22,255	22,005	22,005	22,255	22,13
21	Furo ref. B	Furo h	+	36,82	0,125	-0,125	0,25	0,0625	36,945	36,695	36,695	36,945	36,82
22	Furo h	Centro "recorte"	+	33,95	0,125	-0,125	0,25	0,0625	34,075	33,825	33,825	34,075	33,95
24	Centro tubo peq.	PNT_B	-	131,5	0,5	-0,5	1	1	132	131	132	131	131,5

Tabela 9.13 - Cota a verificar (tolerâncias a amarelo)

				Estatístico (Nominal c/ cotas médias)				Estatístico (Nominal c/ cotas nominais)				Tol do desenho
25	PNT_B	RPS_001	+	117,400	2,270	118,535	116,265	116,800	2,270	117,935	115,665	2
												1
												-1

10. APÊNDICE 3





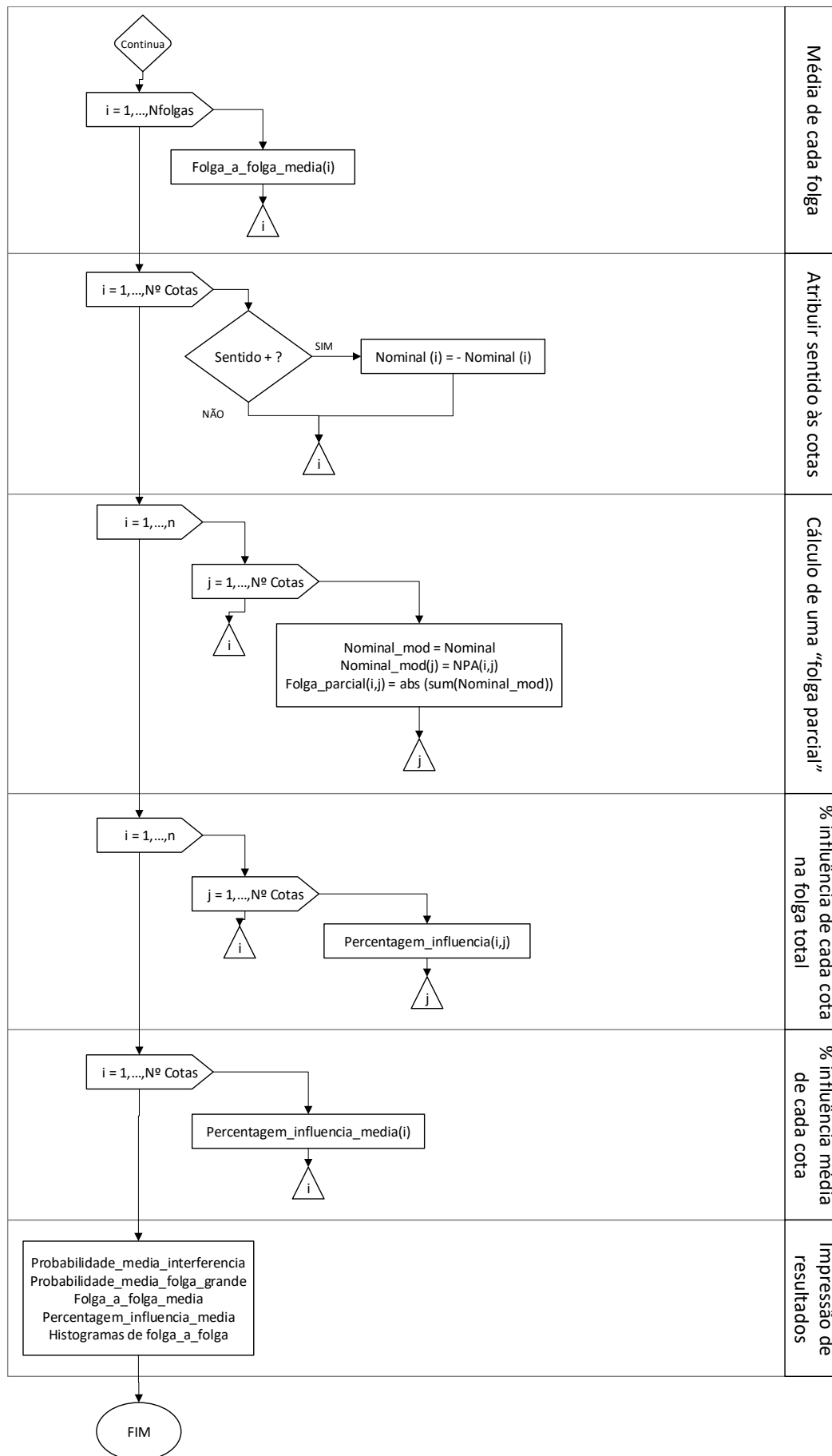


Figura 10.1 - Fluxograma de funcionamento do programa

11. APÊNDICE 4

11.1. Programa principal (“prob_interf_inversao.m”)

```
1  function data = prob_interf_inversao (FMK, Direcao)
2
3  load_pkg
4
5  % -- INICIALIZAÇÃO DE VARIÁVEIS -- %
6
7  NPA = [];
8  folga = zeros;
9  Probabilidade_interferencias = zeros;
10 Probabilidade_folgas_grandes = zeros;
11
12 % -- OBTER POSIÇÕES DO FICHEIRO EXCEL -- %
13
14 RangeDim = ler_excel_Dim (FMK,Direcao);
15 RangeSentido = ler_excel_Sentido (FMK,Direcao);
16 nFolgas = ler_excel_Nfolgas (FMK,Direcao);
17 dimFolgas = ler_excel_folgas (FMK,Direcao);
18 rangeNominal = ler_excel_nominal (FMK,Direcao);
19
20 n = ( (2*2.575*0.1)/0.01)^2; %Cálculo do número de amostras para um
intervalo de confiança de 99%
21 n = ceil (n);
22
23 for k = 1:10
24
25 % -- LER DADOS DO FICHEIRO EXCEL -- %
26
27 Lim_Dim = xlsread ('Spreadsheet_analise_folgas_'.xlsx', FMK, RangeDim);
28 Sentido = xlsread ('Spreadsheet_analise_folgas_'.xlsx', FMK, RangeSentido);
29 NFolgas = xlsread ('Spreadsheet_analise_folgas_'.xlsx', FMK, nFolgas);
30 DimFolgas = xlsread ('Spreadsheet_analise_folgas_'.xlsx', FMK, dimFolgas);
31 Nominal = xlsread ('Spreadsheet_analise_folgas_'.xlsx', FMK, rangeNominal);
32
33 for i = 1:rows(Lim_Dim)
34
35 sigma=0.065*(Lim_Dim(i,1)-Lim_Dim(i,2)); %Desvio padrão dos componentes
36
37 for j = 1:n %Simulação Monte-Carlo
38
39 u1 = rand;
40
41 h(i) = 1/(Lim_Dim(i,1)-Lim_Dim(i,2)-(4*sigma)); %"Altura" da função de
densidade de probabilidade
42
43 if u1 < ((4*sigma)/(Lim_Dim (i,1)-Lim_Dim (i,2))) %Intervalo primeiro ramo da
função de densidade de probabilidade
44
45 X = ( ((h(i)*(Lim_Dim(i,2))/(4*sigma)) + sqrt(
((h(i)*(Lim_Dim(i,2))/(4*sigma))^2 - 4* ((h(i) / (8*sigma)) * (-u1 -
((h(i)*(Lim_Dim(i,2))^2)/(8*sigma) ) + ((h(i)*(Lim_Dim(i,2))^2)/(4*sigma) ))))/ ((2*
h(i) / (8*sigma)))); %Função de distribuição acumulada primeiro ramo
46
47 elseif u1 >= ((4*sigma)/(Lim_Dim(i,1)-Lim_Dim(i,2))) && u1 < ((Lim_Dim
(i,1)-(4*sigma)-Lim_Dim(i,2))/(Lim_Dim(i,1)-Lim_Dim(i,2))) %Intervalo segundo ramo da
função de densidade de probabilidade
48
```

```

49         X = (ul + (h(i)*(Lim_Dim(i,2)+(4*sigma))) - ((h(i) *
(Lim_Dim(i,2)+(4*sigma))^2)/(8*sigma)) + (h(i)*Lim_Dim(i,2)*(Lim_Dim(i,2)+(4*sigma))
)/(4*sigma)) +
((h(i)*(Lim_Dim(i,2))^2)/(8*sigma))-((h(i)*(Lim_Dim(i,2))^2)/(4*sigma))/h(i);
%Função de distribuição acumulada primeiro + segundo ramo
50
51         else %Intervalo terceiro ramo da função de densidade de probabilidade
52
53         X = (-((h(i)*Lim_Dim(i,1))/(4*sigma)) + sqrt(((h(i)*Lim_Dim(i,1))/(4*sigma))^2
- 4 * (-h(i)/(8*sigma)) * ((h(i)*(Lim_Dim(i,1)-(4*sigma))^2)/(8*sigma)) -
((h(i)*Lim_Dim(i,1)*(Lim_Dim(i,1)-(4*sigma)))/(4*sigma)) +
(h(i)*(Lim_Dim(i,1)-(4*sigma))) - (h(i)*(Lim_Dim(i,2)+(4*sigma))) +
((h(i)/(8*sigma))*(Lim_Dim(i,2)+(4*sigma))^2) - ((h(i) *
Lim_Dim(i,2)*(Lim_Dim(i,2)+(4*sigma)))/(4*sigma)) - ((h(i)*(Lim_Dim(i,2))^2)/(8*sigma)) +
((h(i)*(Lim_Dim(i,2))^2)/(4*sigma)) - ul))/(2 * (-h(i)/(8*sigma))); %Função de
distribuição acumulada primeiro + segundo ramo + terceiro ramo
54
55         endif
56
57         NPA (j,i) = X; %Preencher matriz com j valores diferentes para cada cota
58
59     endfor
60
61 endfor
62
63 %-- TORNAR SINAL DAS COTAS CONCORDANTE COM O SENTIDO --%
64
65 for i = 1:rows(Lim_Dim)
66
67     for j = 1:rows(NPA)
68
69         if Sentido(i) == 1
70             NPA(j,i) = -1*NPA(j,i);
71         endif
72
73     endfor
74
75 endfor
76
77 % -- CALCULAR FOLGAS -- %
78
79 for i = 1:rows(NPA)
80
81     f=0;
82
83     for j = 1:rows(Lim_Dim)
84
85         f=f+NPA(i,j);
86
87     endfor
88
89     folga (i) = f;
90
91 endfor
92
93 % -- CONTAR NÚMERO DE OCORRÊNCIAS (interferência/ folga grande) -- %
94
95 a=0;
96 b=0;
97

```

```

98     for i = 1:length(folga)
99
100         if folga(i) < 0           %Interferências
101
102             a = a+1;
103
104         elseif folga(i)>0.5*NFolgas    %Folgas demasiado grandes
105
106             b=b+1;
107
108         endif
109
110     endfor
111
112     Probabilidade_interferencias(k) = (a / length(folga))*100;
113     Probabilidade_folgas_grandes(k) = (b / length(folga))*100;
114
115     folga;
116     interf = folga(folga<0);    %Vector com valores das interferências
117     fg = folga(folga>0.5);      %Vector com folgas demasiado grandes
118
119     endfor
120
121     escala = [floor(min(folga)):0.1:ceil(max(folga))];    %Escala do histograma
122     X = 1:1:length(Probabilidade_interferencias);
123
124     figure(1);
125
126     subplot(2,2,1);
127     hist(interf,escala,'r');          %Histograma das interferências
128     title('Interferencia');
129
130     subplot(2,2,2);
131     hist(fg,escala,'b');              %Histograma das folgas demasiado grandes
132     title('Folga > 0.5');
133
134     subplot(2,2,3);
135     histfit(folga,'g');              %Histograma da variação das folgas
136     title('Variacao da folga');
137
138     subplot(2,2,4);
139     scatter(X,Probabilidade_interferencias,'r');
140     hold on;
141     scatter(X,Probabilidade_folgas_grandes,'b');    %Probabilidade de interferência/folga
142     demasiado grande
143     hold off;
144     legend('P-Interferencia','P-FolgaGrande');
145     title('Probabilidades');
146
147     media = mean(folga);
148     desv_padrao = std(folga);    %Desvio padrão da variação da folga
149
150     Probabilidade_media_interferencia =
151     sum(Probabilidade_interferencias)/length(Probabilidade_interferencias);
152     Probabilidade_media_folga_grande =
153     sum(Probabilidade_folgas_grandes)/length(Probabilidade_folgas_grandes);
154
155     Folg_a_Folga = [];
156
157     for j = 1:n
158
159         if NFolgas > 1    %Casos em que existe mais que uma folga na cadeia de cotas
160
161             Folg_a_Folga(j,1) = normrnd(media/NFolgas,desv_padrao/NFolgas);    %Primeira folga é
162             dada pela normal ajustada ao histograma da folga

```

```

159
160     for i = 2: length (DimFolgas)
161
162         if Folga_a_Folga(j,i-1) < 0    %Se a uma folga der interferência
163
164             Folga_a_Folga (j,i) = normrnd(media/NFolgas,desv_padrao/NFolgas) - Folga_a_Folga
(j,i-1); %Folga seguinte é a soma da que resulta da normal com o valor "em interferência"
da anterior
165
166         else
167
168             Folga_a_Folga (j,i) = normrnd(media/NFolgas,desv_padrao/NFolgas);
169
170         endif
171
172     endfor
173
174     else
175
176         Folga_a_Folga(j,1) = normrnd (media/NFolgas,desv_padrao/NFolgas); %Se só houver uma
folga
177
178     endif
179
180 endfor
181
182 Folga_a_Folga_media = zeros;
183
184 for i = 1:columns(Folga_a_Folga)
185
186     Folga_a_Folga_media (i) = mean(Folga_a_Folga(:,i)); %Calcular a média de cada folga
187
188 endfor
189
190
191
192 for i = 1:NFolgas
193
194     figure(i+1);
195     hist(Folga_a_Folga(:,i));
196     title ('Folga a Folga');
197
198 endfor
199
200 %-- TORNAR SINAL DAS COTAS CONCORDANTE COM O SENTIDO --%
201
202 for i = 1:rows(Nominal)
203
204     if Sentido(i) == 1
205         Nominal(i) = -1*Nominal(i);
206     endif
207
208 endfor
209
210 folga_parcial = zeros;

```

```

211
212     for i = 1:rows(NPA)
213                                     %Fazer variar apenas uma cota de cada
vez
214         for j = 1:columns(NPA)
215             Nominal_mod = Nominal;
216             Nominal_mod (j) = NPA(i,j);
217             folga_parcial(i,j) = abs(sum(Nominal_mod));
218         endfor
219     endfor
220
221     percentagem_influencia = zeros;
222
223     for i = 1:rows(folga_parcial)                                     %Cálculo
da percentagem de influência
224         for j = 1:columns(folga_parcial)
225             percentagem_influencia (i,j) = ((folga_parcial(i,j))/sum(folga_parcial(i,:)))*100;
226         endfor
227     endfor
228
229     percentagem_influencia_media = zeros;
230
231     for i = 1:columns(percentagem_influencia)                       %Cálculo da percentagem de
influência média
232         percentagem_influencia_media (i) = (sum
(percentagem_influencia(:,i)))/(rows(percentagem_influencia));
233     endfor
234
235     data = [Probabilidade_media_interferencia , Probabilidade_media_folga_grande ,
Folga_a_Folga_media , percentagem_influencia_media];               %Valores a escrever no .txt
236     data = num2str(data);
237
238     filename = ("dados.txt");
239     fid = fopen(filename, 'a');
240     fprintf(fid, "\n%s", Direcao);                                   %Escrever resultados no documento "dados"
241     fprintf(fid, "%s", ' ');
242     fprintf(fid, "%s", data);
243     fclose(fid);
244
245
246
247     end

```

11.2. Leitura de limites de dimensão (“ler_excel_Dim.m”)

```
1  function res = ler_excel_Dim (FMK, Direcao)
2
3      if FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAY'
4          a = 'J8:K14';
5
6      elseif FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAZ'
7          a = 'J37:K44';
8
9      elseif FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAX'
10         a = 'J69:K76';
11
12     elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBY'
13         a = 'J8:K11';
14
15     elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBZ'
16         a = 'J25:K29';
17
18     elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBX'
19         a = 'J52:K56';
20
21     elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRA'
22         a = 'J9:K11';
23
24     elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRB'
25         a = 'J30:K39';
26
27     elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRX'
28         a = 'J69:K75';
29
30     elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQY'
31         a = 'J8:K10';
32
33     elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQZ'
34         a = 'J20:K23';
35
36     elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQX'
37         a = 'J44:K47';
38
39     elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRY'
40         a = 'J8:K10';
41
42     elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRZ'
43         a = 'J20:K24';
44
45     elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRX'
46         a = 'J47:K50';
47
48     elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVY'
49         a = 'J8:K11';
50
51     elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVZ'
52         a = 'J21:K24';
53
54     elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVX'
55         a = 'J45:K49';
56
57     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRY'
58         a = 'J8:K15';
59
```



```

60     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRZ'
61         a= 'J38:K46';
62
63     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRX'
64         a= 'J71:K77';
65
66     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRBY'
67         a= 'J8:K9';
68
69     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCY'
70         a= 'J17:K18';
71
72     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRBZ'
73         a= 'J28:K31';
74
75     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCZ'
76         a= 'J51:K54';
77
78     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCX'
79         a= 'J77:K80';
80
81     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTY'
82         a= 'J8:K25';
83
84     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTZ'
85         a= 'J58:K77';
86
87     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTX'
88         a= 'J106:K123';
89
90     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESY'
91         a= 'J8:K15';
92
93     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESZ'
94         a= 'J35:K44';
95
96     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESX'
97         a= 'J69:K79';
98
99     endif
100
101     res=a;
102
103     end

```

11.3. Leitura das dimensões das folgas (“ler_excel_folgas.m”)

```
1  function res = ler_excel_folgas (FMK, Direcao)
2
3  if FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAY'
4      d = 'K27:K28';
5
6  elseif FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAZ'
7      d = 'K56:K57';
8
9  elseif FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAX'
10     d = 'K88:K89';
11
12  elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBZ'
13     d = 'K41';
14
15  elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBX'
16     d = 'K68:K69';
17
18  elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRA'
19     d = 'K22';
20
21  elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRB'
22     d = 'K54:K57';
23
24  elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRX'
25     d = 'K89:K90';
26
27  elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQZ'
28     d = 'K33';
29
30  elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQX'
31     d = 'K57';
32
33  elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRZ'
34     d = 'K36:K37';
35
36  elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRX'
37     d = 'K60';
38
39  elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVZ'
40     d = 'K35';
41
42  elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVX'
43     d = 'K59';
44
45  elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRY'
46     d = 'K28:K29';
47
48  elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRZ'
49     d = 'K59:K61';
50
51  elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRX'
52     d = 'K87';
53
54  elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRBZ'
55     d = 'K43:K44';
56
57  elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCZ'
58     d = 'K66:K67';
59
```

```

60     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCX'
61         d = 'K92:K93';
62
63     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTY'
64         d = 'K43:K49';
65
66     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTZ'
67         d = 'K92:K96';
68
69     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTX'
70         d = 'K140:K146';
71
72     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESY'
73         d = 'K26';
74
75     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESZ'
76         d = 'K57:K59';
77
78     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESX'
79         d = 'K94:K98';
80
81     endif
82
83     res=d;
84
85     end

```

11.4. Leitura do número de folgas (“ler_excel_Nfolgas.m”)

```
1  function res = ler_excel_Nfolgas (FMK, Direcao)
2
3      if FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAY'
4          c = 'P8';
5
6      elseif FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAZ'
7          c = 'P37';
8
9      elseif FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAX'
10         c = 'P69';
11
12     elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBY'
13         c = 'P8';
14
15     elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBZ'
16         c = 'P25';
17
18     elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBX'
19         c = 'P52';
20
21     elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRA'
22         c = 'P9';
23
24     elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRB'
25         c = 'P30';
26
27     elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRX'
28         c = 'P69';
29
30     elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQY'
31         c = 'P8';
32
33     elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQZ'
34         c = 'P20';
35
36     elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQX'
37         c = 'P44';
38
39     elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRY'
40         c = 'P8';
41
42     elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRZ'
43         c = 'P20';
44
45     elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRX'
46         c = 'P47';
47
48     elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVY'
49         c = 'P8';
50
51     elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVZ'
52         c = 'P21';
53
54     elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVX'
55         c = 'P45';
56
57     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRY'
58         c = 'P8';
59
```

```

60     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRZ'
61         c = 'P38';
62
63     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRX'
64         c = 'P71';
65
66     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRBY'
67         c = 'P8';
68
69     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCY'
70         c = 'P17';
71
72     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRBZ'
73         c = 'P28';
74
75     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCZ'
76         c = 'P51';
77
78     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCX'
79         c = 'P77';
80
81     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTY'
82         c = 'P8';
83
84     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTZ'
85         c = 'P58';
86
87     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTX'
88         c = 'P106';
89
90     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESY'
91         c = 'P8';
92
93     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESZ'
94         c = 'P35';
95
96     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESX'
97         c = 'P69';
98
99     endif
100
101     res=c;
102
103     end

```

11.5. Leitura dimensões nominais (“ler_excel_nominal.m”)

```
1  function res = ler_excel_nominal (FMK, Direcao)
2
3      if FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAY'
4          e = 'E8:E14';
5
6      elseif FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAZ'
7          e = 'E37:E44';
8
9      elseif FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAX'
10         e = 'E69:E76';
11
12     elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBY'
13         e = 'E8:E11';
14
15     elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBZ'
16         e = 'E25:E29';
17
18     elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBX'
19         e = 'E52:E56';
20
21     elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRA'
22         e = 'E9:E11';
23
24     elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRB'
25         e = 'E30:E39';
26
27     elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRX'
28         e = 'E69:E75';
29
30     elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQY'
31         e = 'E8:E10';
32
33     elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQZ'
34         e = 'E20:E23';
35
36     elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQX'
37         e = 'E44:E47';
38
39     elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRY'
40         e = 'E8:E10';
41
42     elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRZ'
43         e = 'E20:E24';
44
45     elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRX'
46         e = 'E47:E50';
47
48     elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVY'
49         e = 'E8:E11';
50
51     elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVZ'
52         e = 'E21:E24';
53
54     elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVX'
55         e = 'E45:E49';
56
57     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRY'
58         e = 'E8:E15';
59
```

```

60     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRZ'
61         e = 'E38:E46';
62
63     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRX'
64         e = 'E71:E77';
65
66     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRBY'
67         e = 'E8:E9';
68
69     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCY'
70         e = 'E17:E18';
71
72     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRBZ'
73         e = 'E28:E31';
74
75     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCZ'
76         e = 'E51:E54';
77
78     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCX'
79         e = 'E77:E80';
80
81     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTY'
82         e = 'E8:E25';
83
84     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTZ'
85         e = 'E58:E77';
86
87     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTX'
88         e = 'E106:E123';
89
90     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESY'
91         e = 'E8:E15';
92
93     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESZ'
94         e = 'E35:E44';
95
96     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESX'
97         e = 'E69:E79';
98
99     endif
100
101     res=e;
102
103     end

```

11.6. Leitura do sentido de cada cota (“ler_excel_Sentido.m”)

```
1 function res = ler_excel_Sentido (FMK, Direcao)
2
3     if FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAY'
4         b = '08:014';
5
6     elseif FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAZ'
7         b = '037:044';
8
9     elseif FMK == 'PNT_A' & Direcao == 'PNTAX'
10        b = '069:076';
11
12    elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBY'
13        b = '08:011';
14
15    elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBZ'
16        b = '025:029';
17
18    elseif FMK == 'PNT_B' & Direcao == 'PNTBX'
19        b = '052:056';
20
21    elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRA'
22        b = '09:011';
23
24    elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRB'
25        b = '030:039';
26
27    elseif FMK == 'C_Dir' & Direcao == 'CDIRX'
28        b = '069:075';
29
30    elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQY'
31        b = '08:010';
32
33    elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQZ'
34        b = '020:023';
35
36    elseif FMK == 'F_Esq' & Direcao == 'FESQX'
37        b = '044:047';
38
39    elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRY'
40        b = '08:010';
41
42    elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRZ'
43        b = '020:024';
44
45    elseif FMK == 'F_Dir' & Direcao == 'FDIRX'
46        b = '047:050';
47
48    elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVY'
49        b = '08:011';
50
51    elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVZ'
52        b = '021:024';
53
54    elseif FMK == 'G_Luv' & Direcao == 'GLUVX'
55        b = '045:049';
56
57    elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRY'
58        b = '08:015';
59
```



```

60     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRZ'
61         b = '038:046';
62
63     elseif FMK == 'Sp_Dr' & Direcao == 'SPDRX'
64         b = '071:077';
65
66     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRBY'
67         b = '08:09';
68
69     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCY'
70         b = '017:018';
71
72     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRBZ'
73         b = '028:031';
74
75     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCZ'
76         b = '051:054';
77
78     elseif FMK == 'AIRBG' & Direcao == 'AIRCX'
79         b = '077:080';
80
81     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTY'
82         b = '08:025';
83
84     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTZ'
85         b = '058:077';
86
87     elseif FMK == 'Cen_T' & Direcao == 'CENTX'
88         b = '0106:0123';
89
90     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESY'
91         b = '08:015';
92
93     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESZ'
94         b = '035:044';
95
96     elseif FMK == 'Sp_Es' & Direcao == 'SPESX'
97         b = '069:079';
98
99     endif
100
101     res=b;
102
103     end

```

11.7. Carregar pacotes do Octave Forge (“load_pkg.m”)

```

1  function load_pkg
2
3      pkg load io
4      pkg load statistics
5
6  end

```

11.8. Correr programas para todas as cadeias (“all_fm.k.m”)

```
1 function all_fm
2
3     %['PNTAY' , 'PNTAZ' , 'PNTAX' , 'PNTBY' , 'PNTBZ' , 'PNTBX' , 'CDIRA' , 'CDIRB' ,
'CDIRX' , 'FESQY' , 'FESQZ' , 'FESQX' , 'FDIRY' , 'FDIRZ' , 'FDIRX' , 'GLUVY' , 'GLUVZ' ,
'GLUVX' , 'SPDRY' , 'SPDRZ' , 'SPDRX' , 'AIRBY' , 'AIRCY' , 'AIRBZ' , 'AIRCZ' , 'AIRCX' ,
'CENTY' , 'CENTZ' , 'CENTX' , 'SPESY' , 'SPESZ' , 'SPESX' ];
4
5     b = [1:26];
6
7     filename = ("dados.txt");
8     fid = fopen(filename, 'a');
9     fprintf(fid, "\n%s\n", datestr(clock()));
10    fprintf(fid, "\n%s\n", 'FMK Prob_Interf Prob_folga>0.5
Folgas_medias %Influencia');
11    fclose(fid);
12
13    for i = 1:length(b)
14
15        if b (i) == 1
16
17            codigo_fm.k = 'PNT_A';
18            codigo_direcao = 'PNTAY';
19
20            prob_interf_inversao (codigo_fm.k,codigo_direcao);
21
22            saveas(1,[pwd '/Probabilidades/PNTAY.jpg'])
23            saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/PNTAY_f1.jpg'])
24            saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/PNTAY_f2.jpg'])
25
26            elseif b (i) == 2
27
28            codigo_fm.k = 'PNT_A';
29            codigo_direcao = 'PNTAZ';
30
31            prob_interf_inversao (codigo_fm.k,codigo_direcao);
32
33            saveas(1,[pwd '/Probabilidades/PNTAZ.jpg'])
34            saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/PNTAZ_f1.jpg'])
35            saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/PNTAZ_f2.jpg'])
36
37            elseif b (i) == 3
38
39            codigo_fm.k = 'PNT_A';
40            codigo_direcao = 'PNTAX';
41
42            prob_interf_inversao (codigo_fm.k,codigo_direcao);
43
44            saveas(1,[pwd '/Probabilidades/PNTAX.jpg'])
45            saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/PNTAX_f1.jpg'])
46            saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/PNTAX_f2.jpg'])
47
48            elseif b(i) == 4
49
50            codigo_fm.k = 'PNT_B';
51            codigo_direcao = 'PNTBZ';
52
53            prob_interf_inversao (codigo_fm.k,codigo_direcao);
54
55            saveas(1,[pwd '/Probabilidades/PNTBZ.jpg'])
56            saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/PNTBZ_f1.jpg'])
57
```

```

58     elseif b(i) == 5
59
60         codigo_fmk = 'PNT_B';
61         codigo_direcao = 'PNTBX';
62
63         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
64
65         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/PNTBX.jpg'])
66         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/PNTBX_f1.jpg'])
67         saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/PNTBX_f2.jpg'])
68
69     elseif b(i) == 6
70
71         codigo_fmk = 'C_Dir';
72         codigo_direcao = 'CDIRA';
73
74         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
75
76         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/CDIRA.jpg'])
77         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/CDIRA_f1.jpg'])
78
79     elseif b(i) == 7
80
81         codigo_fmk = 'C_Dir';
82         codigo_direcao = 'CDIRB';
83
84         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
85
86         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/CDIRB.jpg'])
87         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/CDIRB_f1.jpg'])
88         saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/CDIRB_f2.jpg'])
89         saveas(4,[pwd '/Folga_a_Folga/CDIRB_f3.jpg'])
90         saveas(5,[pwd '/Folga_a_Folga/CDIRB_f4.jpg'])
91
92     elseif b(i) == 8
93
94         codigo_fmk = 'C_Dir';
95         codigo_direcao = 'CDIRX';
96
97         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
98
99         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/CDIRX.jpg'])
100        saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/CDIRX_f1.jpg'])
101        saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/CDIRX_f2.jpg'])
102
103    elseif b(i) == 9
104
105        codigo_fmk = 'F_Esq';
106        codigo_direcao = 'FESQZ';
107
108        prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
109
110        saveas(1,[pwd '/Probabilidades/FESQZ.jpg'])
111        saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/FESQZ_f1.jpg'])
112

```

```

113     elif b(i) == 10
114
115     codigo_fmk = 'F_Esq';
116     codigo_direcao = 'FESQX';
117
118     prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
119
120     saveas(1,[pwd '/Probabilidades/FESQX.jpg'])
121     saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/FESQX_f1.jpg'])
122
123     elif b(i) == 11
124
125     codigo_fmk = 'F_Dir';
126     codigo_direcao = 'FDIRZ';
127
128     prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
129
130     saveas(1,[pwd '/Probabilidades/FDIRZ.jpg'])
131     saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/FDIRZ_f1.jpg'])
132     saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/FDIRZ_f2.jpg'])
133
134     elif b(i) == 12
135
136     codigo_fmk = 'F_Dir';
137     codigo_direcao = 'FDIRX';
138
139     prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
140
141     saveas(1,[pwd '/Probabilidades/FDIRX.jpg'])
142     saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/FDIRX_f1.jpg'])
143
144     elif b(i) == 13
145
146     codigo_fmk = 'G_Luv';
147     codigo_direcao = 'GLUVZ';
148
149     prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
150
151     saveas(1,[pwd '/Probabilidades/GLUVZ.jpg'])
152     saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/GLUVZ_f1.jpg'])
153
154     elif b(i) == 14
155
156     codigo_fmk = 'G_Luv';
157     codigo_direcao = 'GLUVX';
158
159     prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
160
161     saveas(1,[pwd '/Probabilidades/GLUVX.jpg'])
162     saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/GLUVX_f1.jpg'])
163
164     elif b(i) == 15
165
166     codigo_fmk = 'Sp_Dr';
167     codigo_direcao = 'SPDRY';
168
169     prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
170
171     saveas(1,[pwd '/Probabilidades/SPDRY.jpg'])
172     saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/SPDRY_f1.jpg'])
173     saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/SPDRY_f2.jpg'])
174

```

```

175     elseif b(i) == 16
176
177         codigo_fmk = 'Sp_Dr';
178         codigo_direcao = 'SPDRZ';
179
180         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
181
182         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/SPDRZ.jpg'])
183         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/SPDRZ_f1.jpg'])
184         saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/SPDRZ_f2.jpg'])
185         saveas(4,[pwd '/Folga_a_Folga/SPDRZ_f3.jpg'])
186
187     elseif b(i) == 17
188
189         codigo_fmk = 'Sp_Dr';
190         codigo_direcao = 'SPDRX';
191
192         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
193
194         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/SPDRX.jpg'])
195         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/SPDRX_f1.jpg'])
196
197     elseif b(i) == 18
198
199         codigo_fmk = 'AIRBG';
200         codigo_direcao = 'AIRBZ';
201
202         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
203
204         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/AIRBZ.jpg'])
205         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/AIRBZ_f1.jpg'])
206         saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/AIRBZ_f2.jpg'])
207
208     elseif b(i) == 19
209
210         codigo_fmk = 'AIRBG';
211         codigo_direcao = 'AIRCZ';
212
213         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
214
215         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/AIRCZ.jpg'])
216         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/AIRCZ_f1.jpg'])
217         saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/AIRCZ_f2.jpg'])
218
219     elseif b(i) == 20
220
221         codigo_fmk = 'AIRBG';
222         codigo_direcao = 'AIRCX';
223
224         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
225
226         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/AIRCX.jpg'])
227         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/AIRCX_f1.jpg'])
228         saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/AIRCX_f2.jpg'])
229

```

```

230     elseif b(i) == 21
231
232         codigo_fmk = 'Cen_T';
233         codigo_direcao = 'CENTY';
234
235         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
236
237         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/CENTY.jpg'])
238         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTY_f1.jpg'])
239         saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTY_f2.jpg'])
240         saveas(4,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTY_f3.jpg'])
241         saveas(5,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTY_f4.jpg'])
242         saveas(6,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTY_f5.jpg'])
243         saveas(7,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTY_f6.jpg'])
244         saveas(8,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTY_f7.jpg'])
245
246     elseif b(i) == 22
247
248         codigo_fmk = 'Cen_T';
249         codigo_direcao = 'CENTZ';
250
251         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
252
253         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/CENTZ.jpg'])
254         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTZ_f1.jpg'])
255         saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTZ_f2.jpg'])
256         saveas(4,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTZ_f3.jpg'])
257         saveas(5,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTZ_f4.jpg'])
258         saveas(6,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTZ_f5.jpg'])
259
260     elseif b(i) == 23
261
262         codigo_fmk = 'Cen_T';
263         codigo_direcao = 'CENTX';
264
265         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
266
267         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/CENTX.jpg'])
268         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTX_f1.jpg'])
269         saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTX_f2.jpg'])
270         saveas(4,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTX_f3.jpg'])
271         saveas(5,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTX_f4.jpg'])
272         saveas(6,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTX_f5.jpg'])
273         saveas(7,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTX_f6.jpg'])
274         saveas(8,[pwd '/Folga_a_Folga/CENTX_f7.jpg'])
275
276     elseif b(i) == 24
277
278         codigo_fmk = 'Sp_Es';
279         codigo_direcao = 'SPESY';
280
281         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
282
283         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/SPESY.jpg'])
284         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/SPESY_f1.jpg'])
285
286     elseif b(i) == 25
287
288         codigo_fmk = 'Sp_Es';
289         codigo_direcao = 'SPESZ';
290
291         prob_interf_inversao (codigo_fmk,codigo_direcao);
292
293         saveas(1,[pwd '/Probabilidades/SPESZ.jpg'])
294         saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/SPESZ_f1.jpg'])
295         saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/SPESZ_f2.jpg'])
296         saveas(4,[pwd '/Folga_a_Folga/SPESZ_f3.jpg'])
297
298     elseif b(i) == 26
299
300         codigo_fmk = 'Sp_Es';

```

```
301     codigo_direcao = 'SPESX';
302
303     probab_interf_inversao (codigo_fm, codigo_direcao);
304
305     saveas(1,[pwd '/Probabilidades/SPESX.jpg'])
306     saveas(2,[pwd '/Folga_a_Folga/SPESX_f1.jpg'])
307     saveas(3,[pwd '/Folga_a_Folga/SPESX_f2.jpg'])
308     saveas(4,[pwd '/Folga_a_Folga/SPESX_f3.jpg'])
309     saveas(5,[pwd '/Folga_a_Folga/SPESX_f4.jpg'])
310     saveas(6,[pwd '/Folga_a_Folga/SPESX_f5.jpg'])
311
312     endif
313
314 endfor
315
316 filename = ("dados.txt");
317 fid = fopen(filename, 'a');
318 fprintf(fid, "\n%s", datestr(clock()));
319 fprintf(fid, "\n%s", cputime());
320 fclose(fid);
321
322 end
```


12. APÊNDICE 5

19-Jun-2019 09:36:44

FMK	Prob_Interf	Prob_folga>0.5	Folgas_medias	%Influencia									
PNTAY	10.5428	44.2141	0.439278	0.457995	13.6306	13.1034	20.1491	13.3627	13.4027	13.4112	12.9402		
PNTAZ	30.2224	11.4436	0.151761	0.203526	35.955	0.684918	6.7158	10.634	4.14132	5.49668	1.76835	34.604	
PNTAX	27.3728	15.2846	0.202898	0.224643	8.56285	13.1133	25.294	8.55134	6.29102	8.41527	24.7784	4.9938	
PNTBZ	98.0098	0.0904636	-1.15877	30.0244	5.55054	32.5408	6.7452	25.139					
PNTBX	5.62759	38.7712	0.414453	0.420732	22.5978	22.6427	9.77115	22.5441	22.4443				
CDIRA	16.7923	17.3502	0.246599	55.8441	6.23749	37.9184							
CDIRB	49.8002	0	0.00153972	0.0527945	0.0321476	0.0370163	13.9858	14.3969	7.49537	7.25398	7.04132	7.0451	7.17798
14.4071	13.7818												7.41469
CDIRX	50.8896	0.282699	-0.00110221	0.0732031	22.1032	12.6479	15.1862	0.536657	15.1667	12.5842	21.7751		
FESQZ	0.143234	88.5526	0.924957	22.4259	32.975	22.7394	21.8597						
FESQX	0	98.0776	1.33653	23.4218	30.2848	23.505	22.7883						
FDIRZ	8.79005	19.0313	0.305948	0.309555	1.91941	27.9842	28.1918	17.4251	24.4795				
FDIRX	25.9857	33.6713	0.278476	15.2937	38.3347	10.515	35.8566						
GLUVZ	12.7478	35.8047	0.353967	10.2023	50.0342	10.552	29.2116						
GLUVX	26.7508	34.3498	0.302622	12.5186	31.84	12.457	12.4203	30.764					
SPDRY	38.4697	24.3008	0.151057	0.283878	5.99885	1.06241	15.8967	29.7273	12.8118	6.63074	13.6391	14.233	
SPDRZ	18.383	8.3905	0.199658	0.22128	0.215615	6.21919	7.35016	18.0481	22.1607	1.27958	3.12238	15.8684	18.4942
SPDRX	25.2017	32.9212	0.298171	25.4662	5.19455	5.24112	11.9824	30.462	2.08531	19.5685			7.4573
AIRBZ	7.5424	35.9178	0.384337	0.393213	16.3451	30.1399	31.5527	21.9624					
AIRCZ	14.9152	18.6204	0.267628	0.288072	17.007	24.5138	24.5632	33.916					
AIRCX	0.0678477	74.836	0.675229	0.67651	20.5538	29.4988	29.5421	20.4053					
CENTY	1.2137	6.4267	0.29608	0.29102	0.29532	0.29398	0.29863	0.29771	0.2981	5.1652	4.8452	7.3674	4.8488
4.8164	4.8646	4.8191	7.2365	4.8421	7.3995	4.864	4.7797	9.7897	4.8543	4.864	4.8813	4.9011	4.8611
CENTZ	98.6619	0	-0.314303	0.00153272	-0.233184	-0.068176	-0.188482	2.19415	5.03188	5.04744	4.18127	5.02989	5.02499
5.02835	5.02949	5.84561	5.02642	5.03145	4.18308	5.03469	5.02492	5.03129	5.03227	5.03043	8.14934	5.01114	5.03189
CENTX	73.3735	0	-0.052747	0.0109992	-0.0191437	-0.00700835	-0.00990931	-0.00753146	-0.0119077	3.33296	4.84819	9.57206	3.38496
2.74783	2.76758	3.37051	4.22571	9.51069	2.76012	9.48408	2.77452	2.75746	2.73917	22.4845	4.79524	5.60693	2.83752
SPESY	59.4384	20.5051	-0.225176	29.0587	22.8819	6.87549	7.48627	7.59625	7.40047	15.4592	3.24174		
SPESZ	3.30192	11.1572	0.296411	0.29658	0.297878	4.78485	19.0829	6.8023	4.76447	4.73514	13.2183	20.1255	4.64795
6.77009												15.0686	
SPESX	14.7493	0.297776	0.141597	0.145506	0.149389	0.149374	0.147278	3.14306	12.0019	4.62324	10.2749	4.00412	4.71979
8.1303	9.09383	19.8924	11.9424										12.174

19-Jun-2019 10:10:09

13. APÊNDICE 6

○ PNTAY

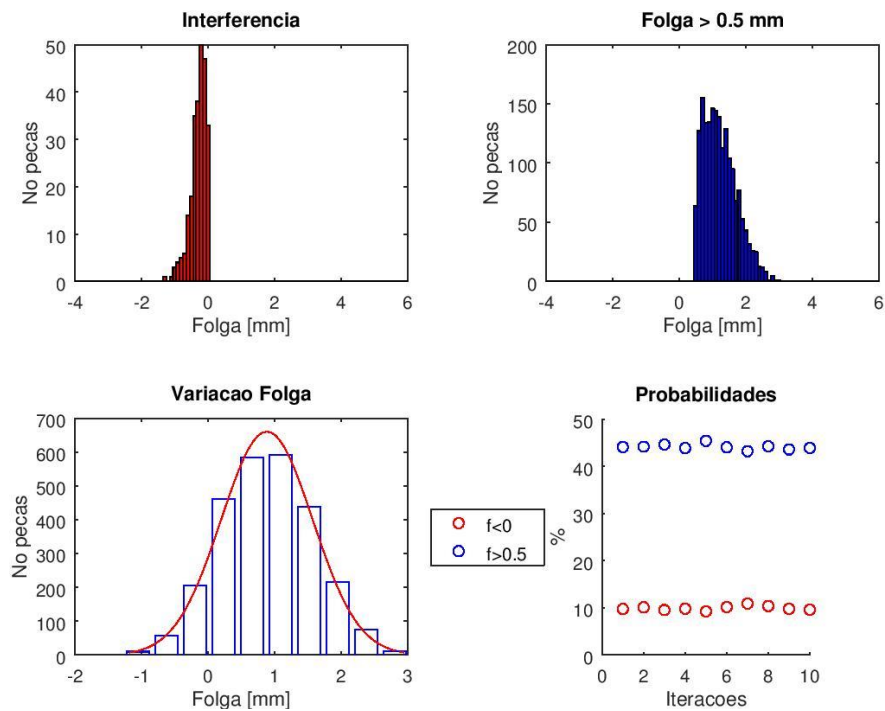


Figura 13.1 - Variação da folga e probabilidades de PNTAY

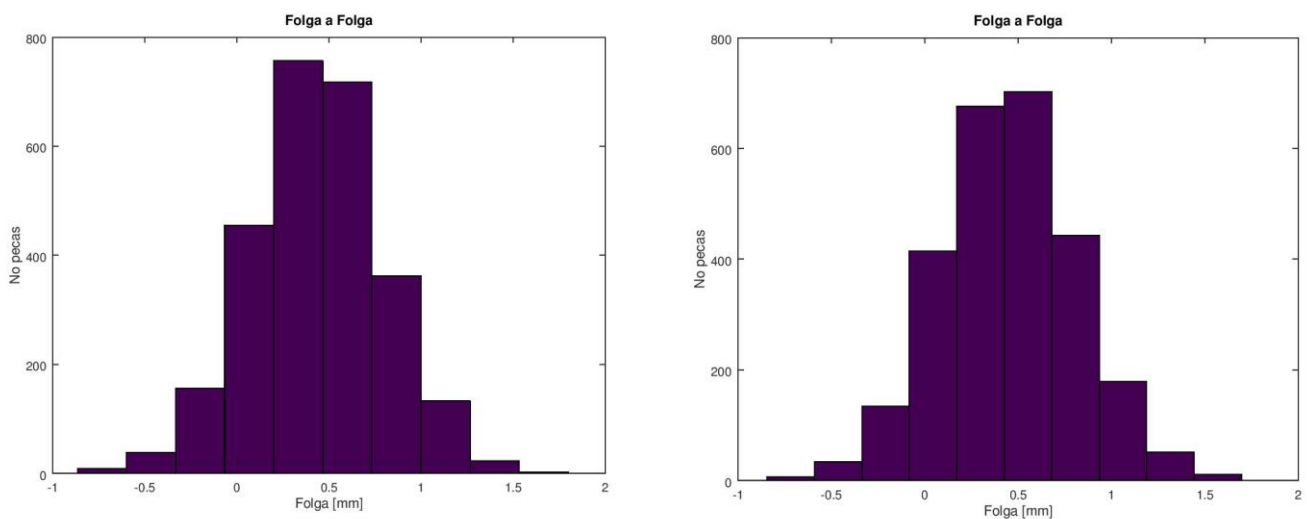


Figura 13.2 – Variação de cada folga de PNTAY individualmente

○ PNTAZ

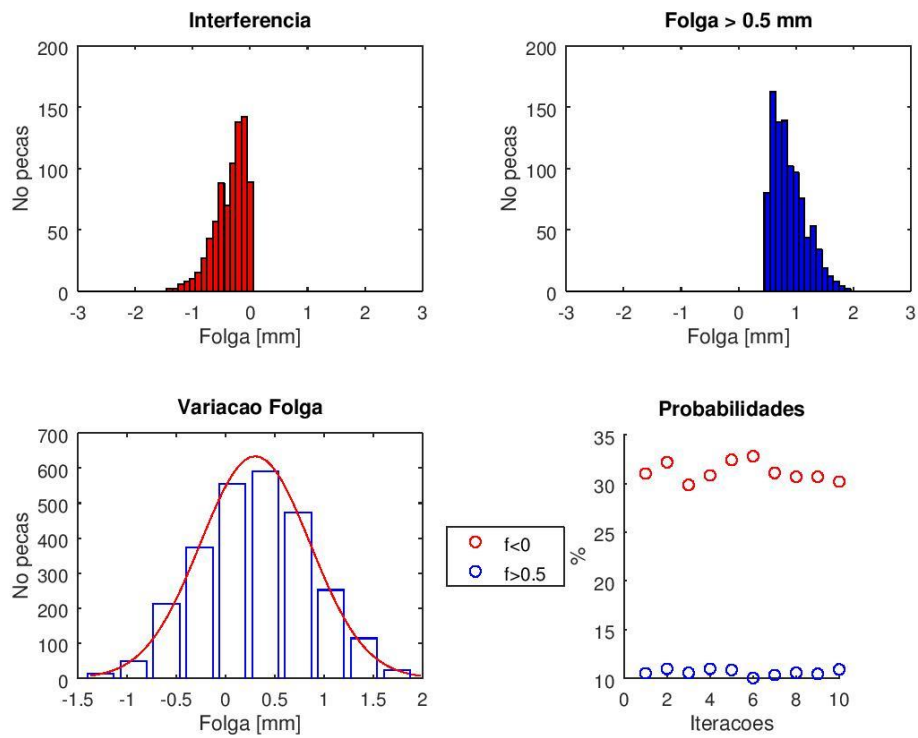


Figura 13.3 - Variação da folga e probabilidades de PNTAZ

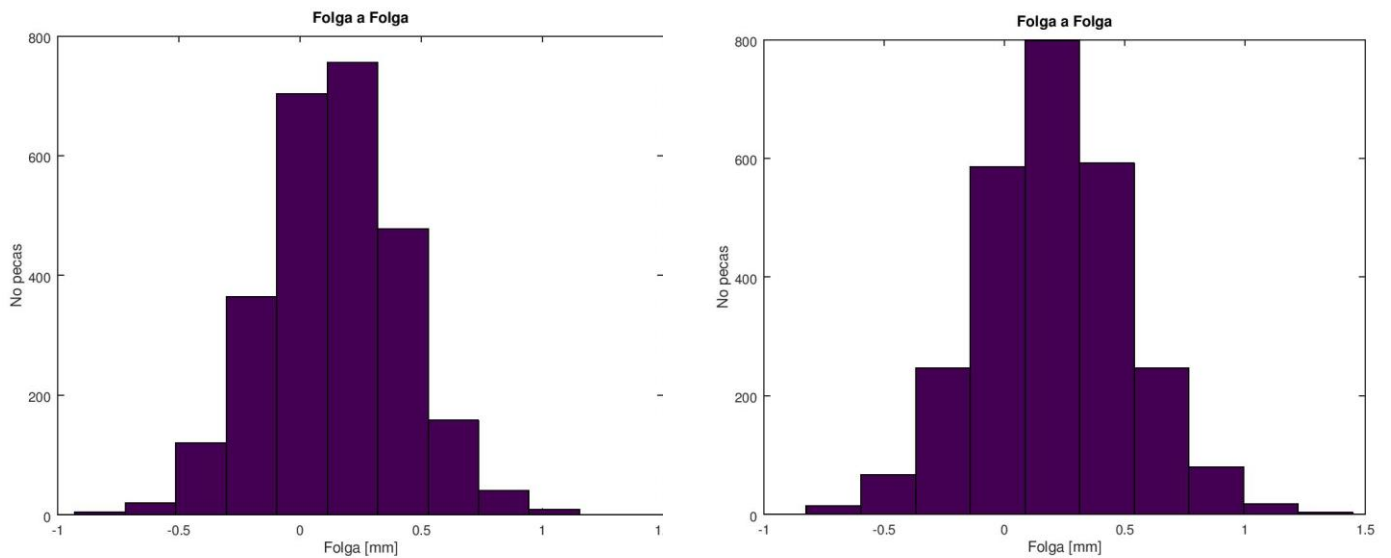


Figura 13.4 - Variação de cada folga de PNTAZ individualmente

○ PNTAX

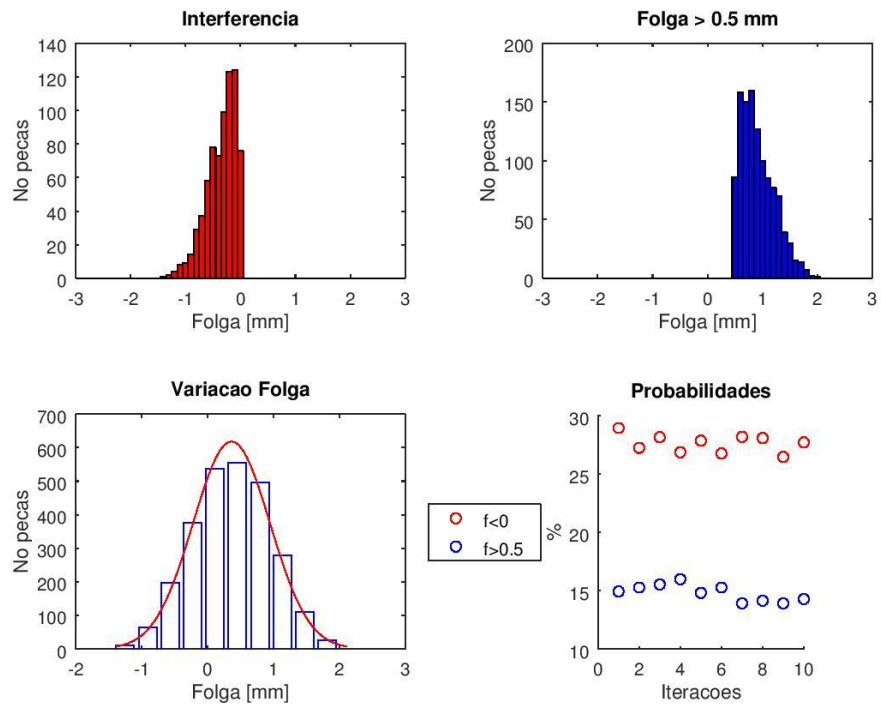


Figura 13.5 - Variação da folga e probabilidades de PNTAX

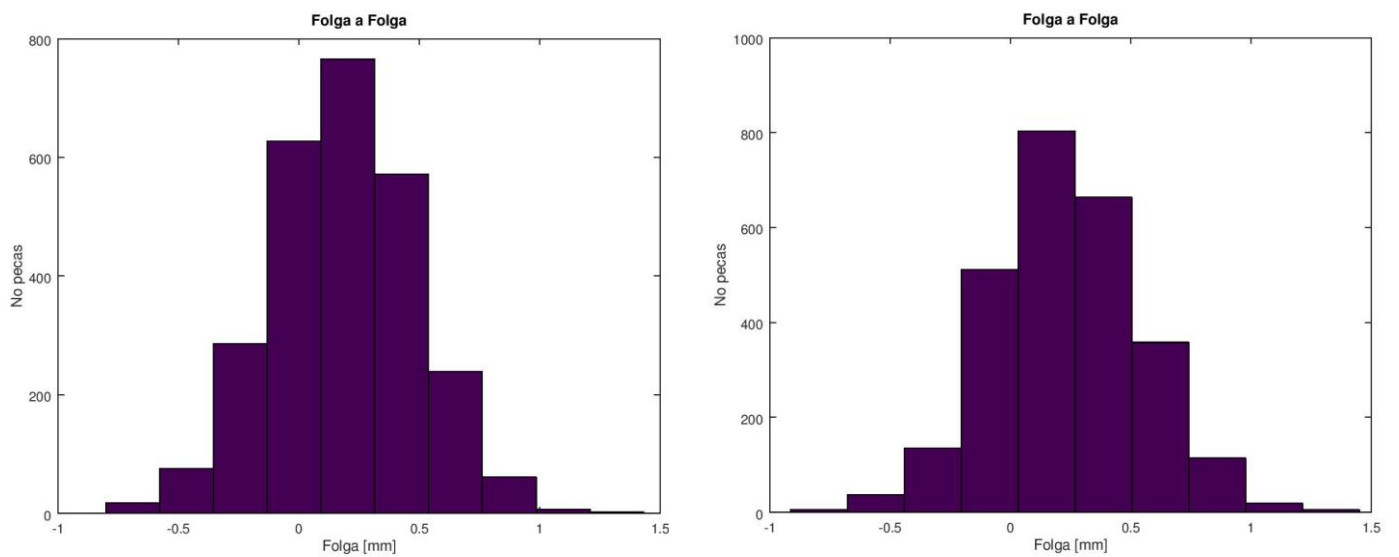


Figura 13.6 - Variação de cada folga de PNTAX individualmente

○ PNTBZ

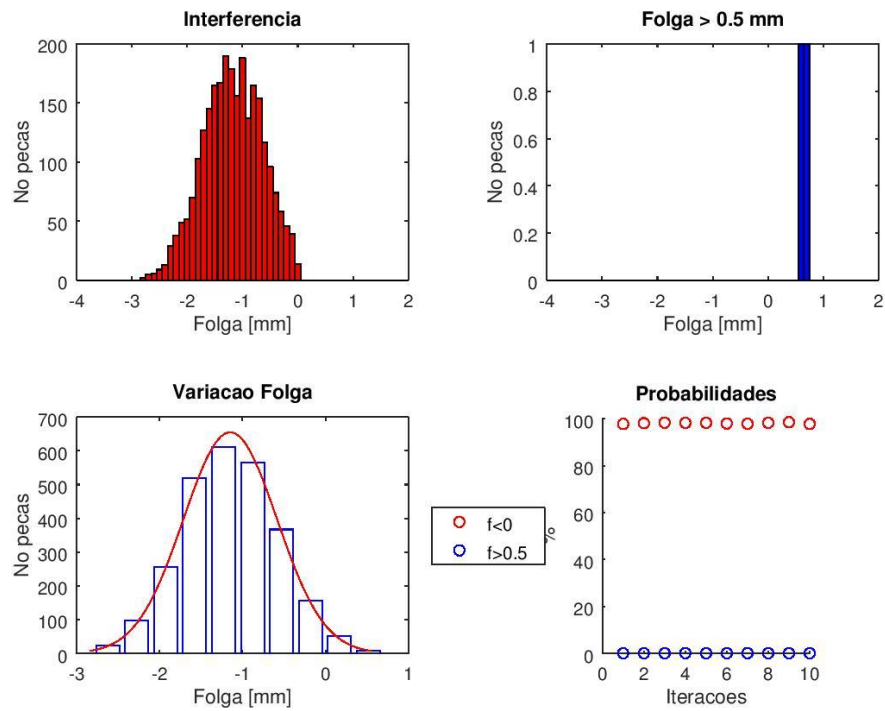


Figura 13.7 - Variação da folga e probabilidades de PNTBZ

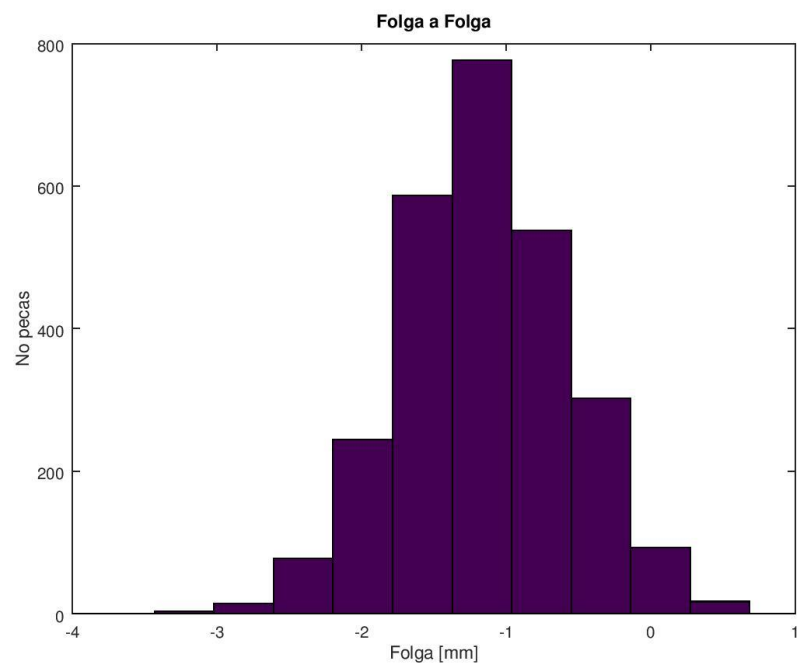


Figura 13.8 - Variação da única folga de PNTBZ

○ PNTBX

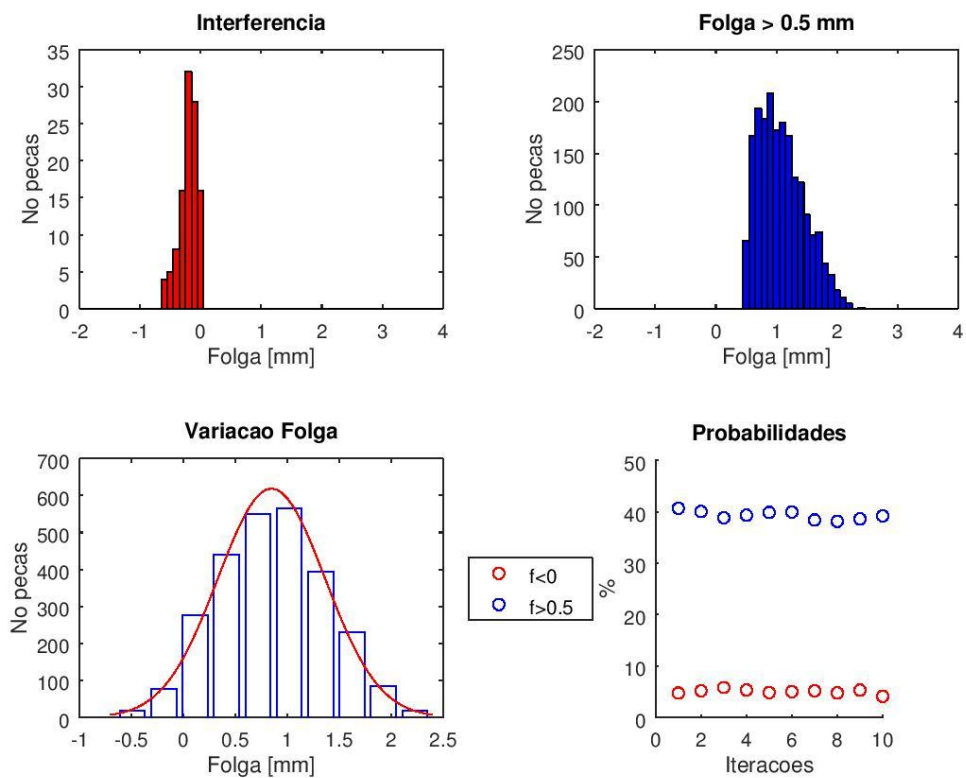


Figura 13.9 - Variação da folga e probabilidades de PNTBX

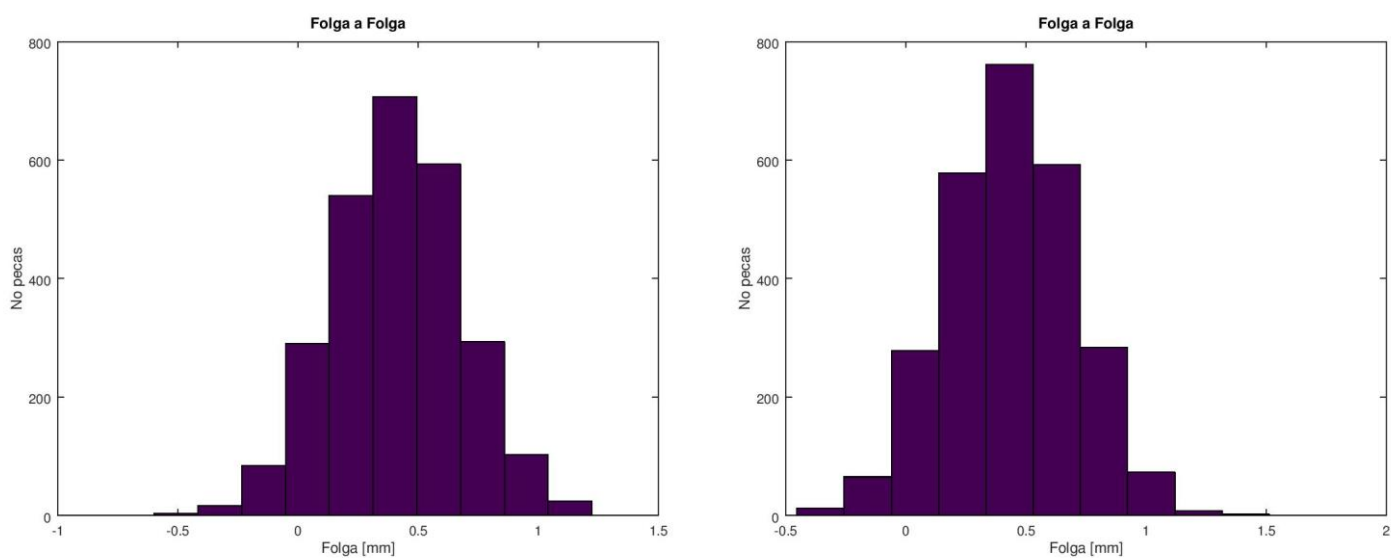


Figura 13.10 - Variação de cada folga de PNTBX individualmente

○ CDIRA

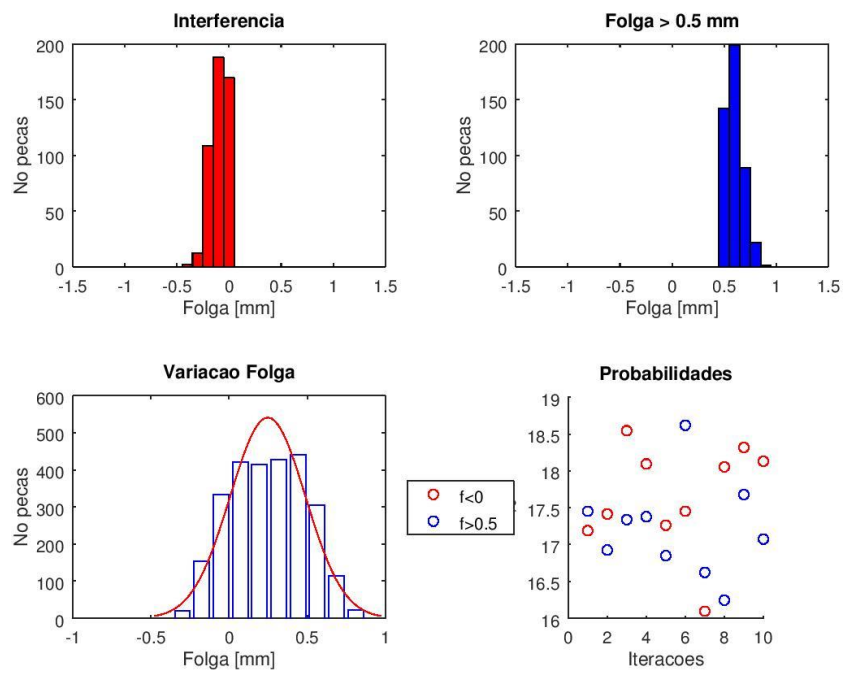


Figura 13.11 - Variação da folga e probabilidades de CDIRA

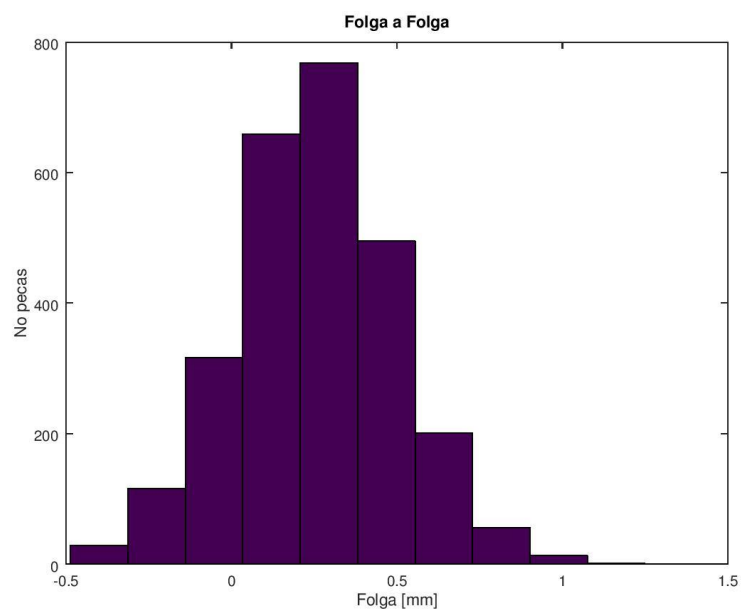


Figura 13.12 - Variação da única folga de CDIRA

○ CDIRB

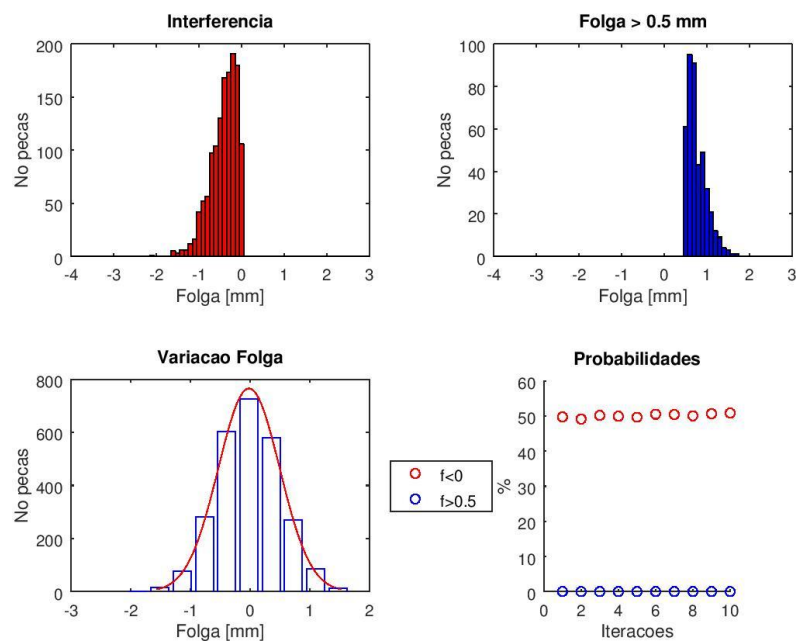


Figura 13.13 – Variação da folga e probabilidades de CDIRB

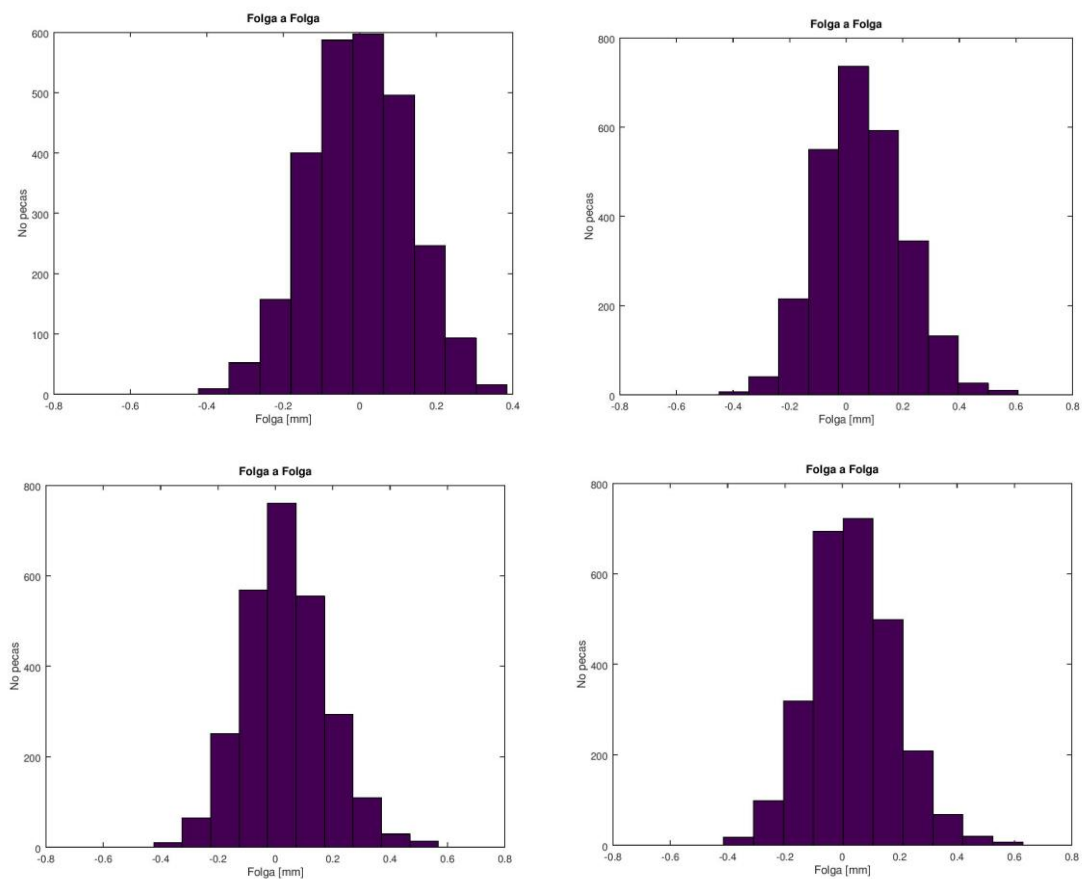


Figura 13.14 - Variação de cada folga de CDIRB individualmente

○ CDIRX

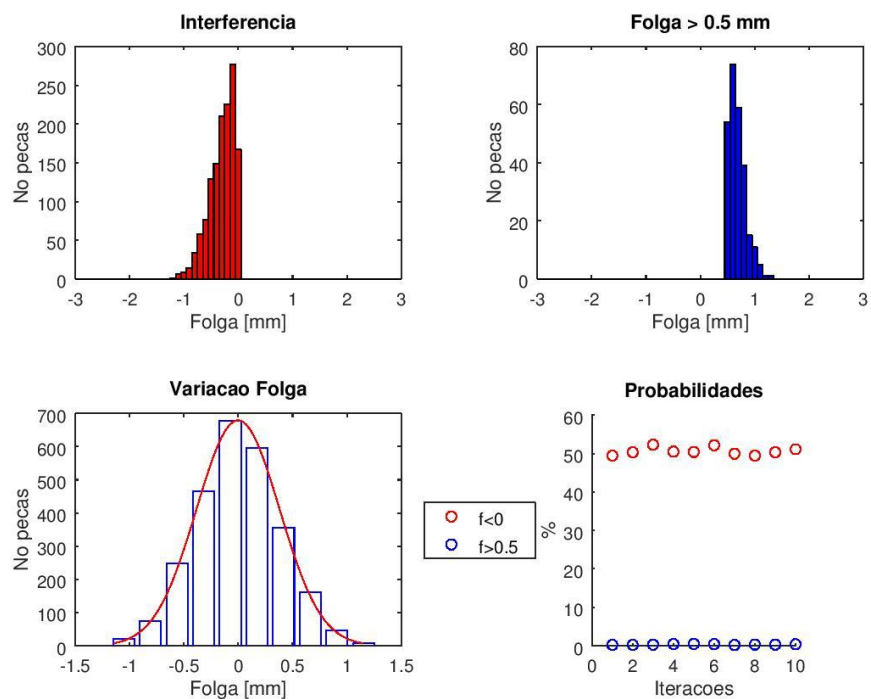


Figura 13.15 - Variação da folga e probabilidades de CDIRX

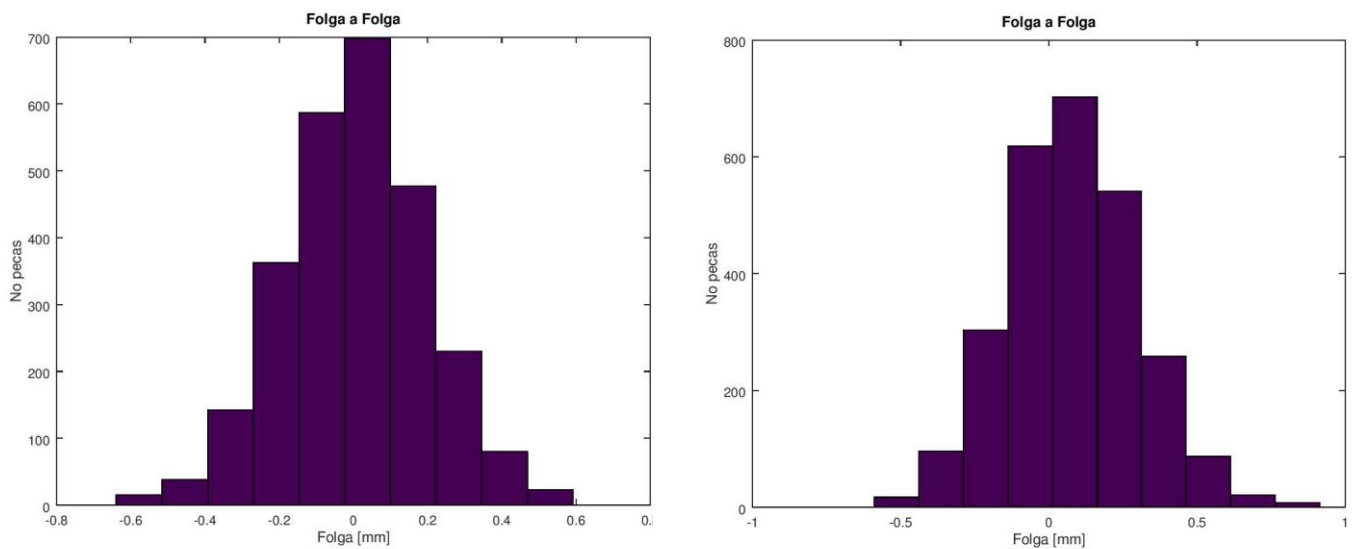


Figura 13.16 - Variação de cada folga de CDIRX individualmente

○ FESQZ

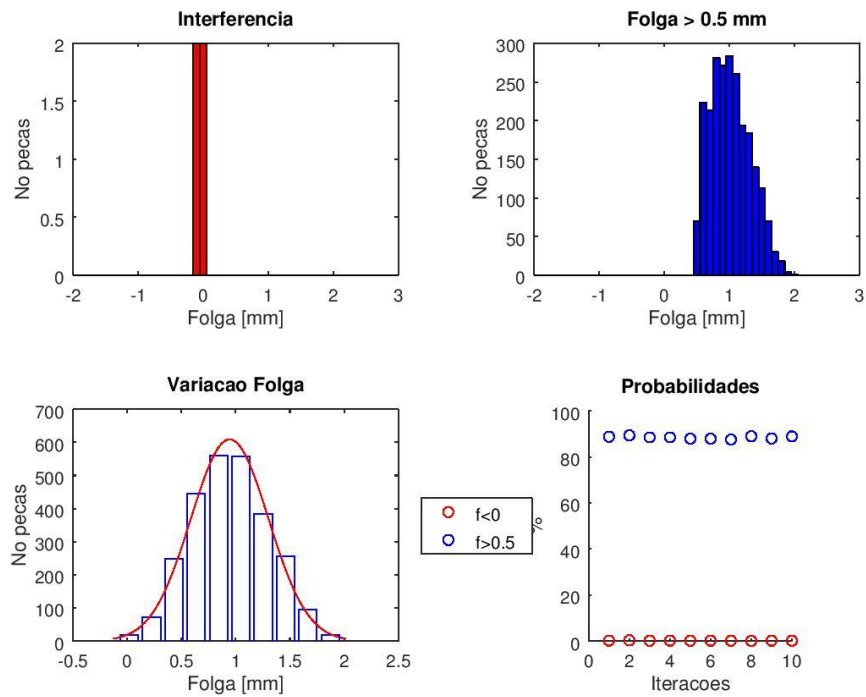


Figura 13.17 - Variação da folga e probabilidades de FESQZ

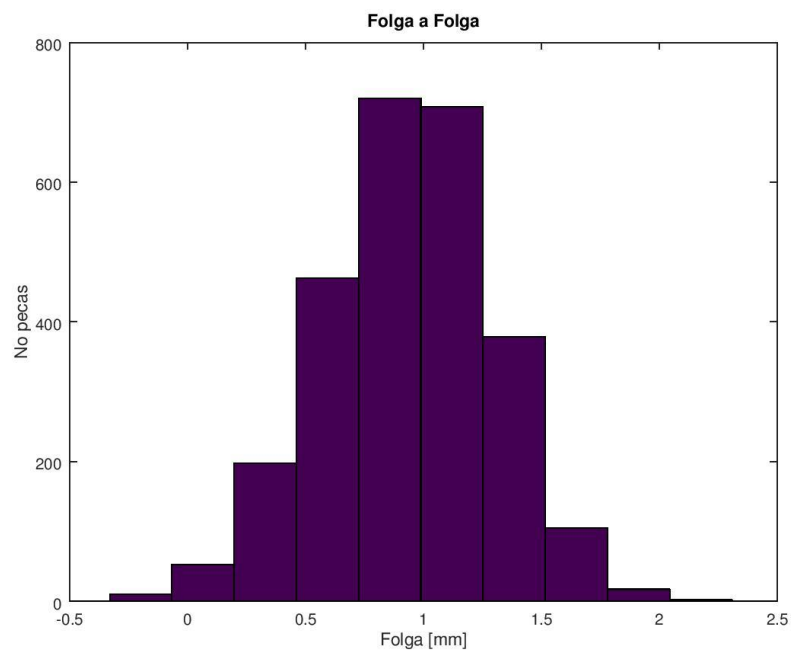


Figura 13.18 - Variação da única folga de FESQZ

○ FESQX

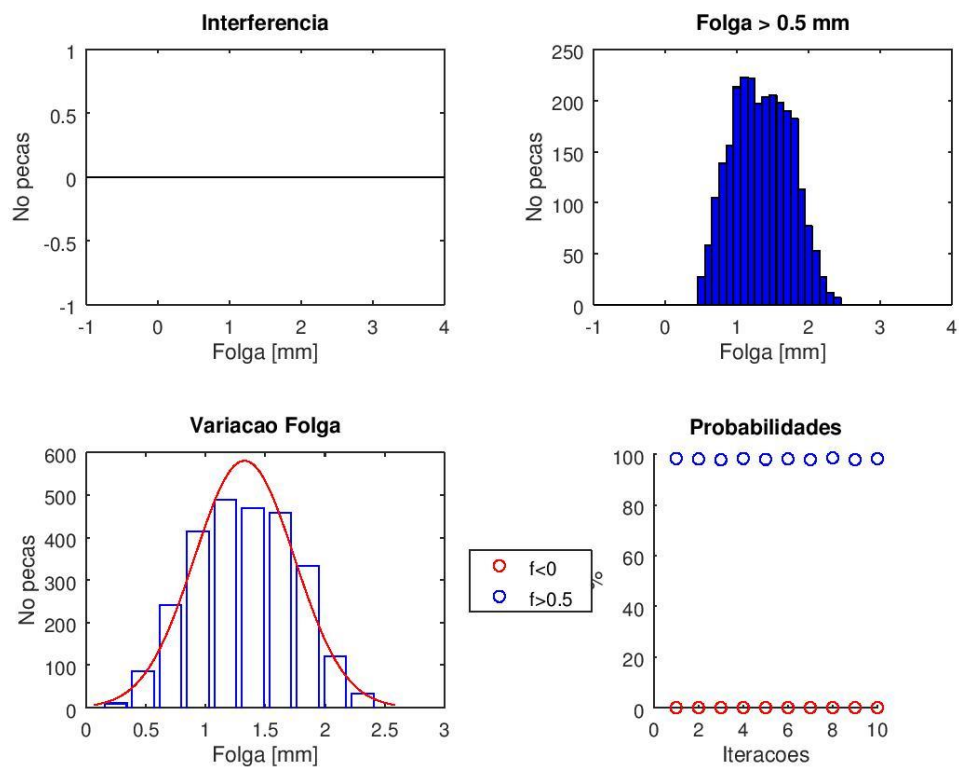


Figura 13.19 - Variação da folga e probabilidades de FESQX

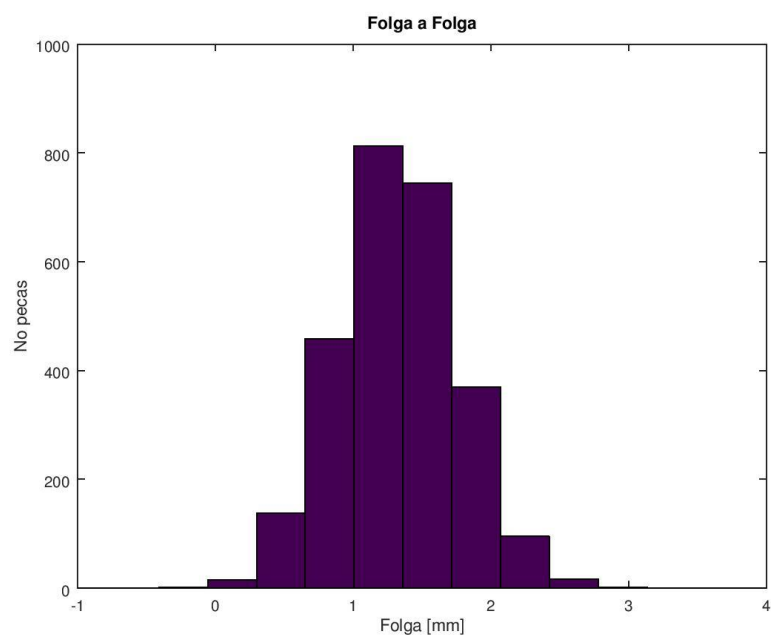


Figura 13.20 - Variação da única folga de FESQX

○ FDIRZ

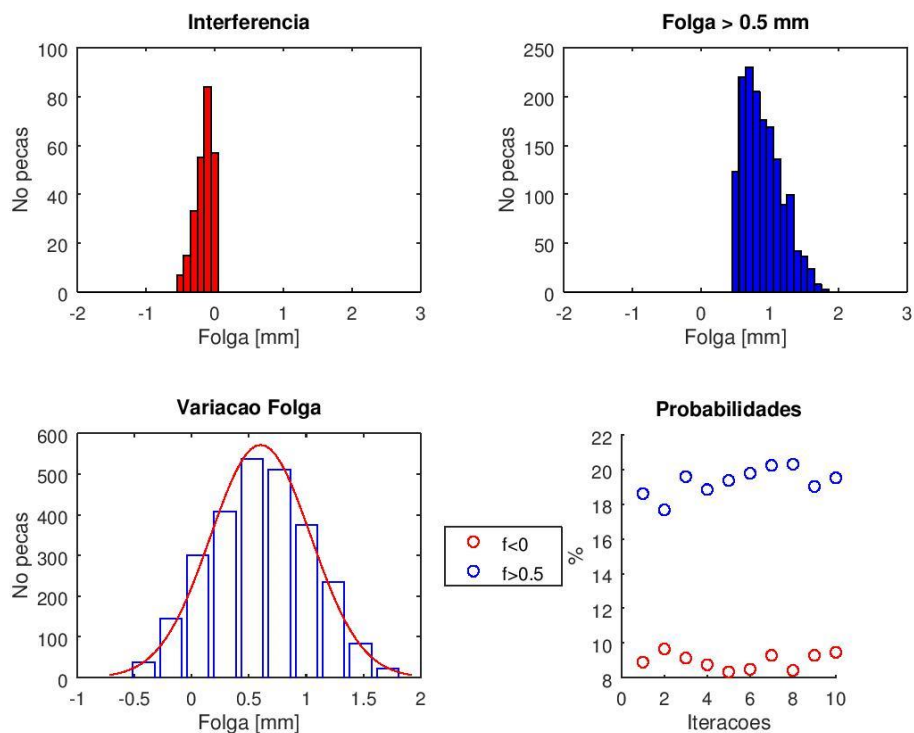


Figura 13.21 - Variação da folga e probabilidades de FDIRZ

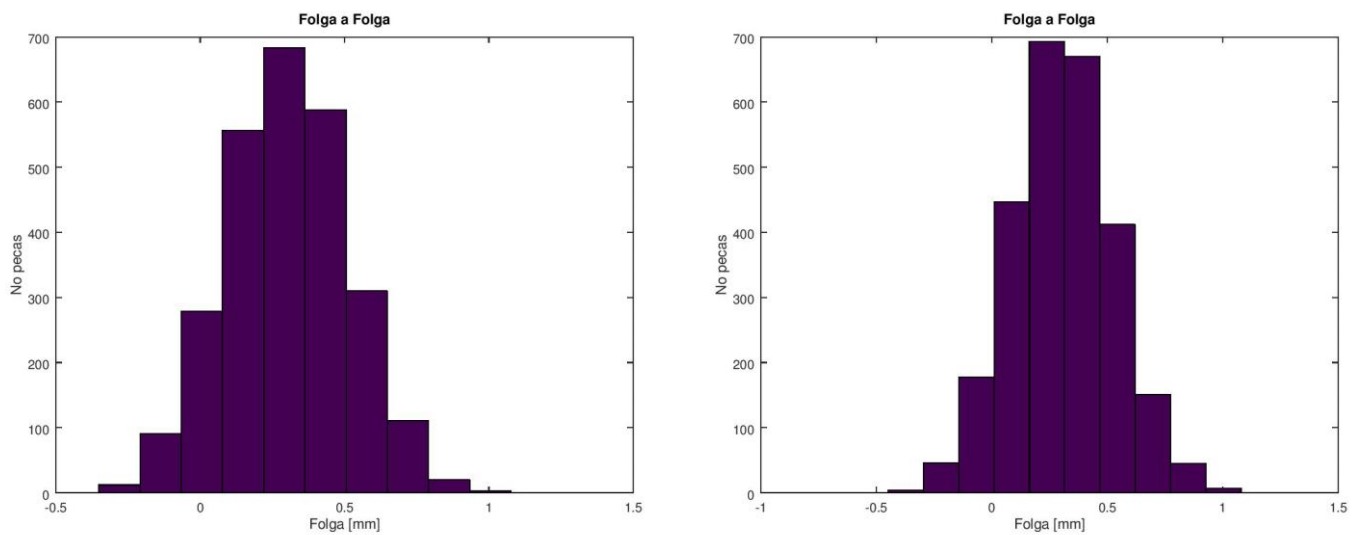


Figura 13.22 - Variação de cada folga de FDIRZ individualmente

○ FDIRX

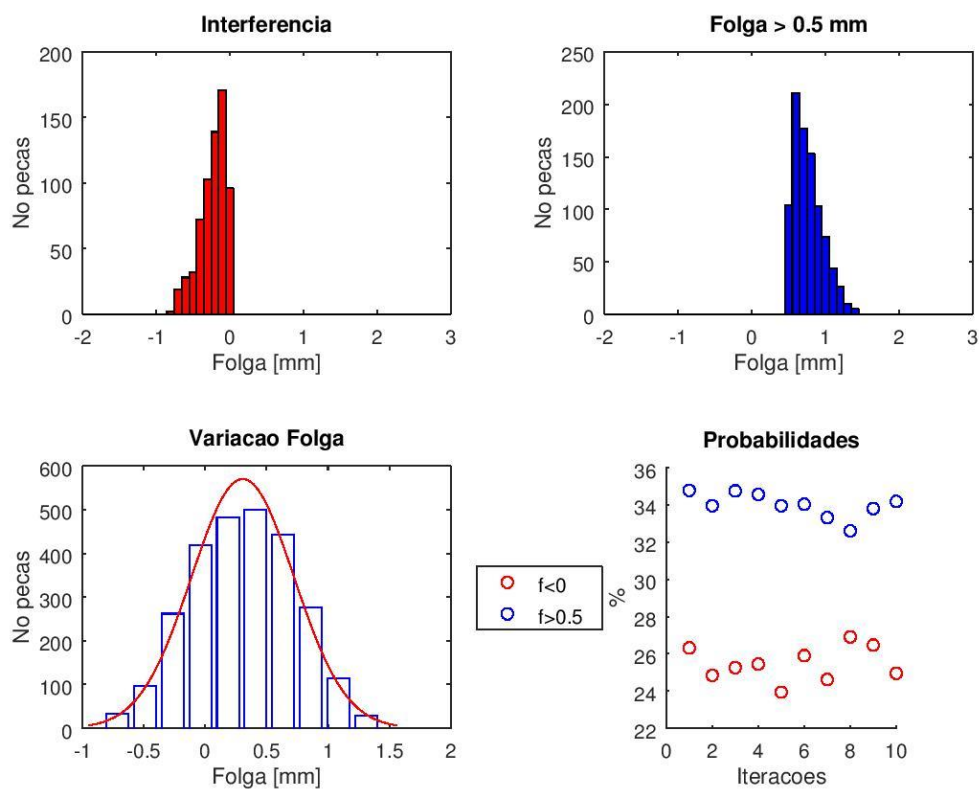


Figura 13.23 - Variação da folga e probabilidades de FDIRX

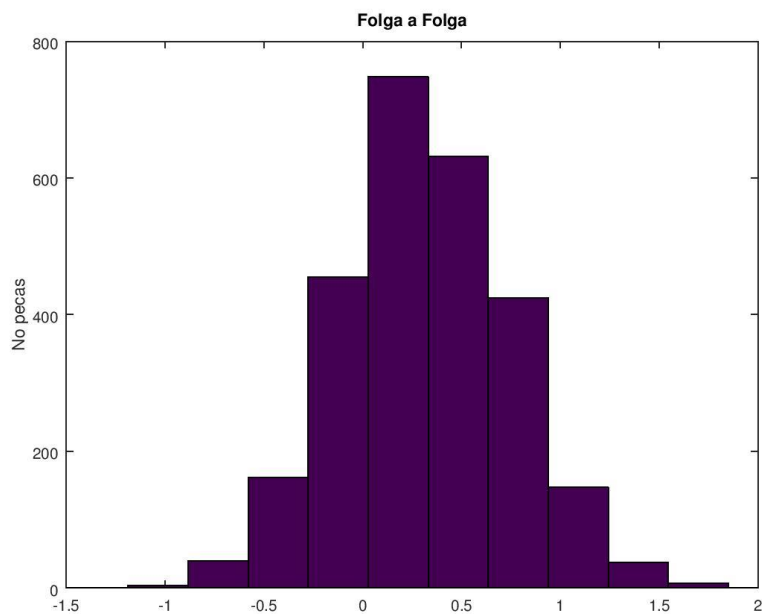


Figura 13.24 - Variação da única folga de FDIRX

○ GLUVZ

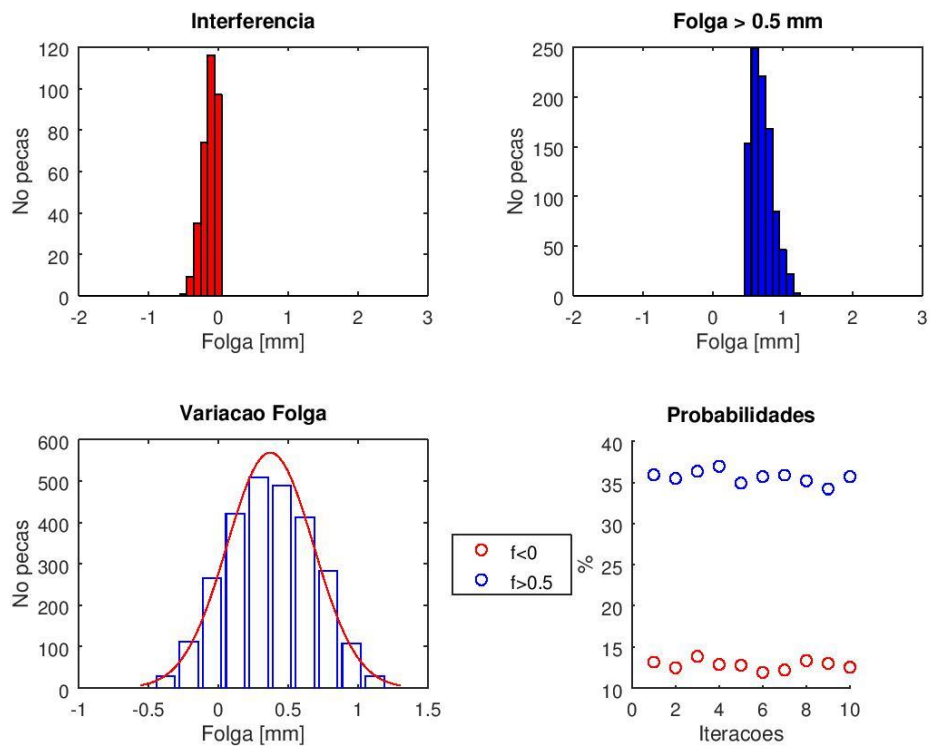


Figura 13.25 - Variação da folga e probabilidades de GLUVZ

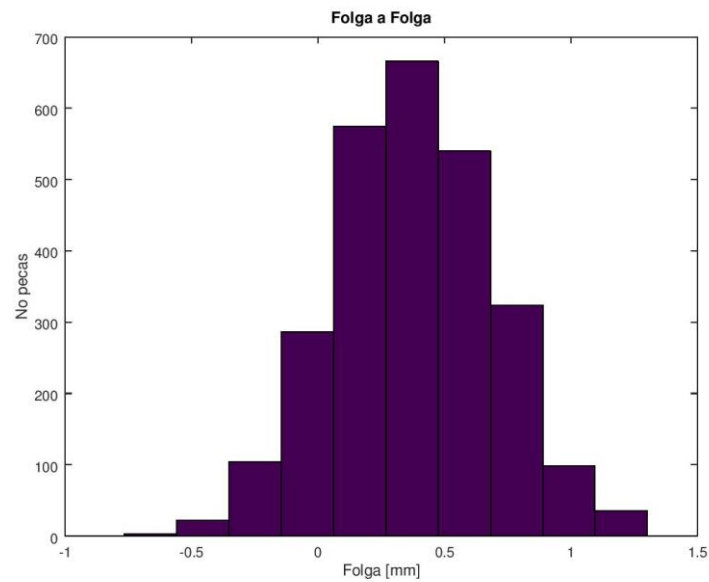


Figura 13.26 - Variação da única folga de GLUVZ

○ GLUVX

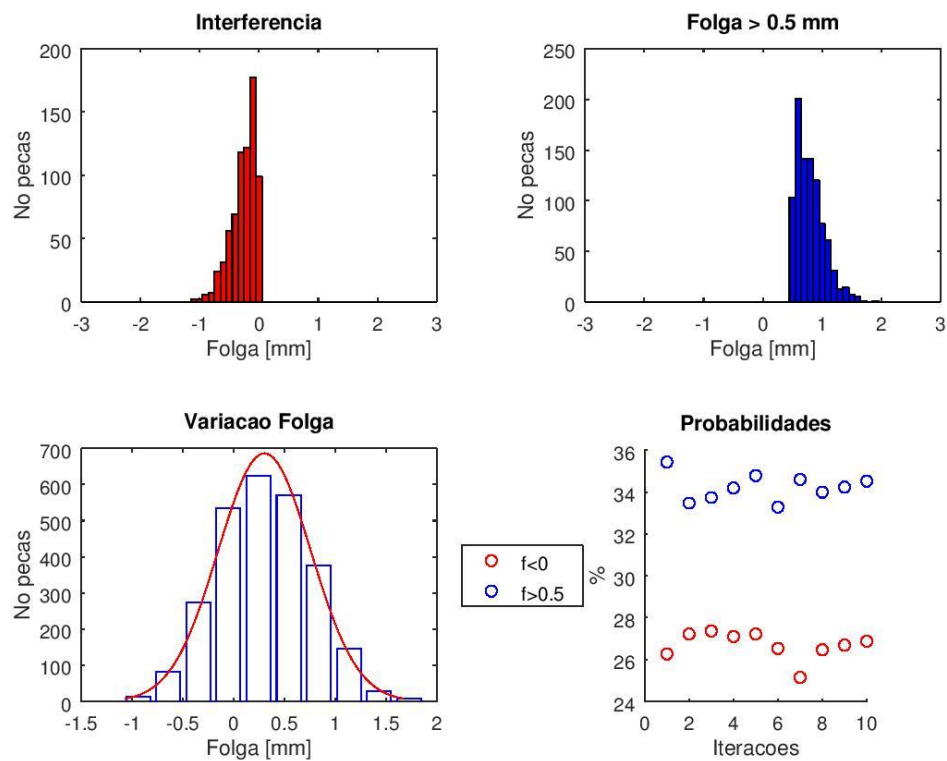


Figura 13.27 - Variação da folga e probabilidades de GLUVX

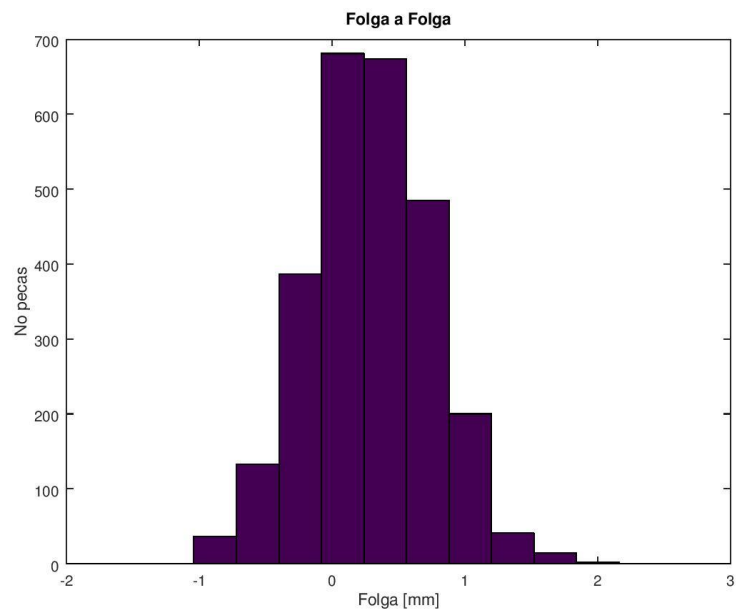


Figura 13.28 - Variação da única folga de GLUVX

○ SPDRY

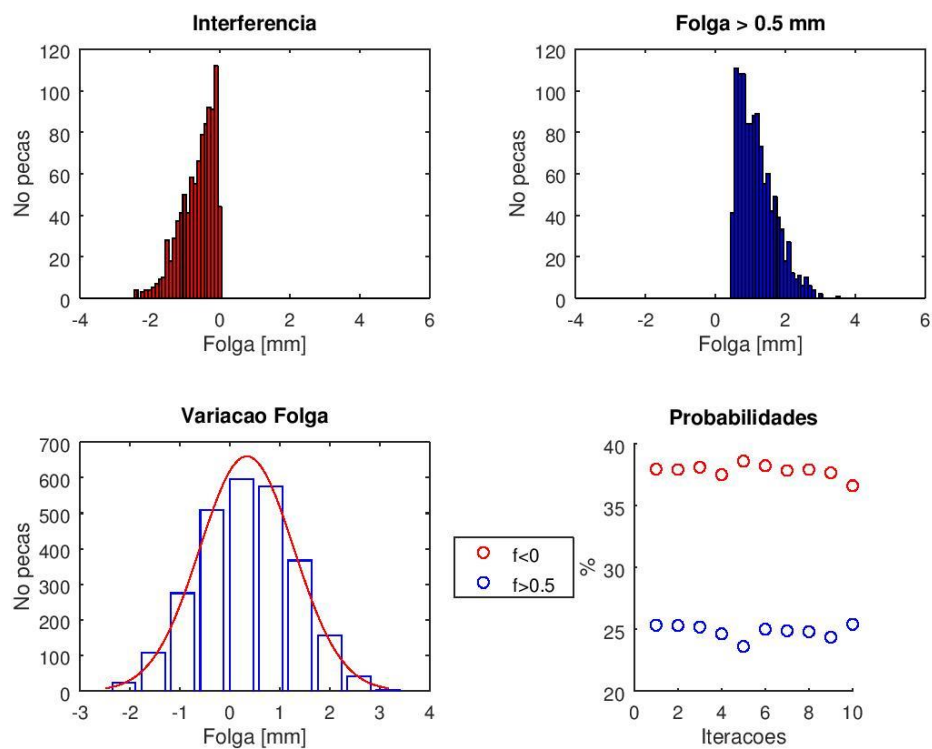


Figura 13.29 - Variação da folga e probabilidades de SPDRY

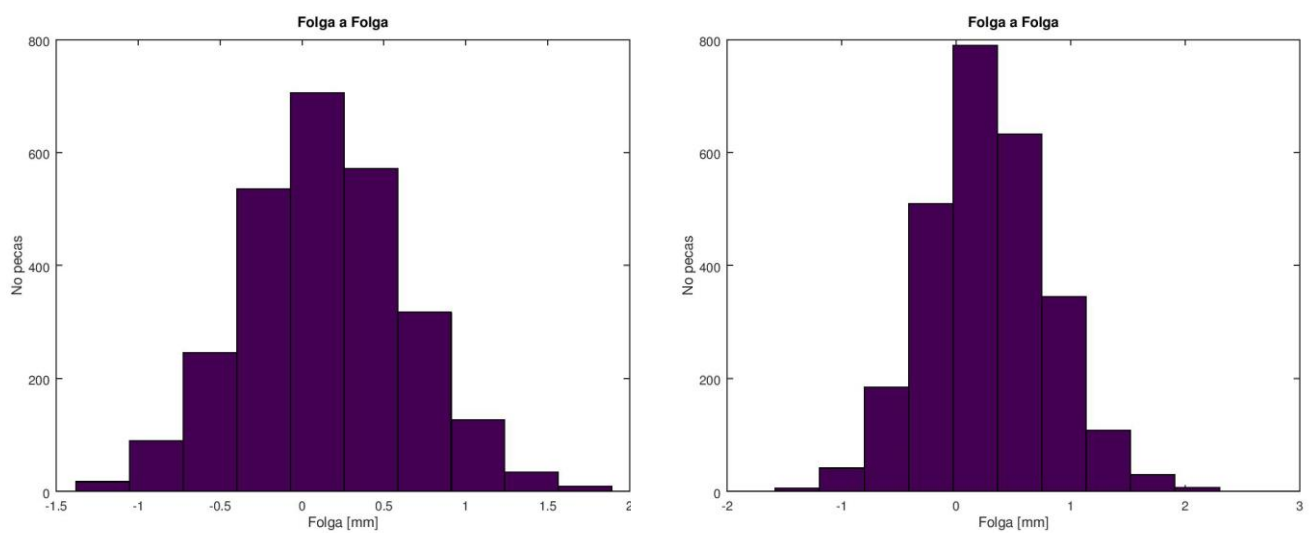


Figura 13.30 - Variação de cada folga de SPDRY individualmente

○ SPDRZ

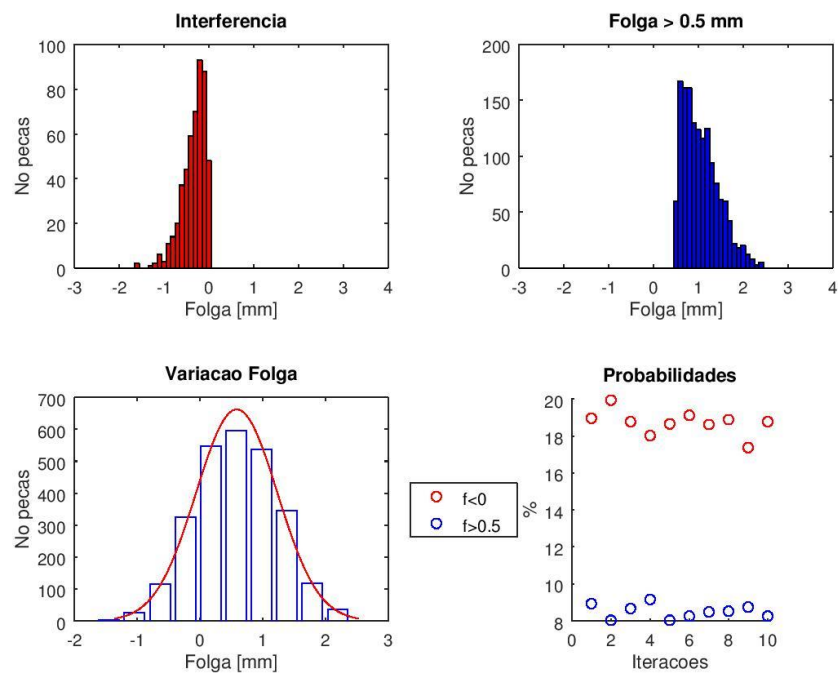


Figura 13.31 - Variação da folga e probabilidades de SPDRZ

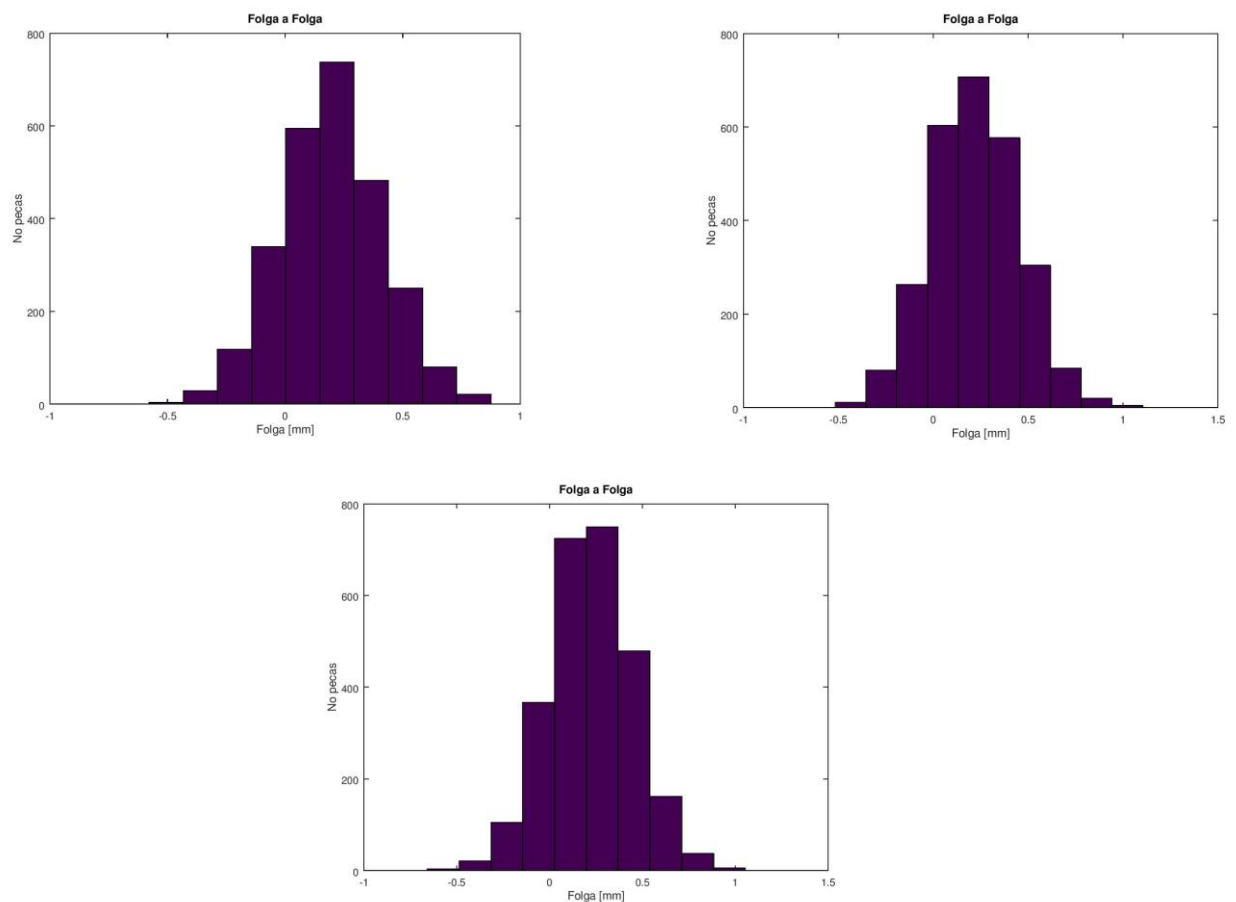


Figura 13.32 - Variação de cada folga de SPDRZ individualmente

○ SPDRX

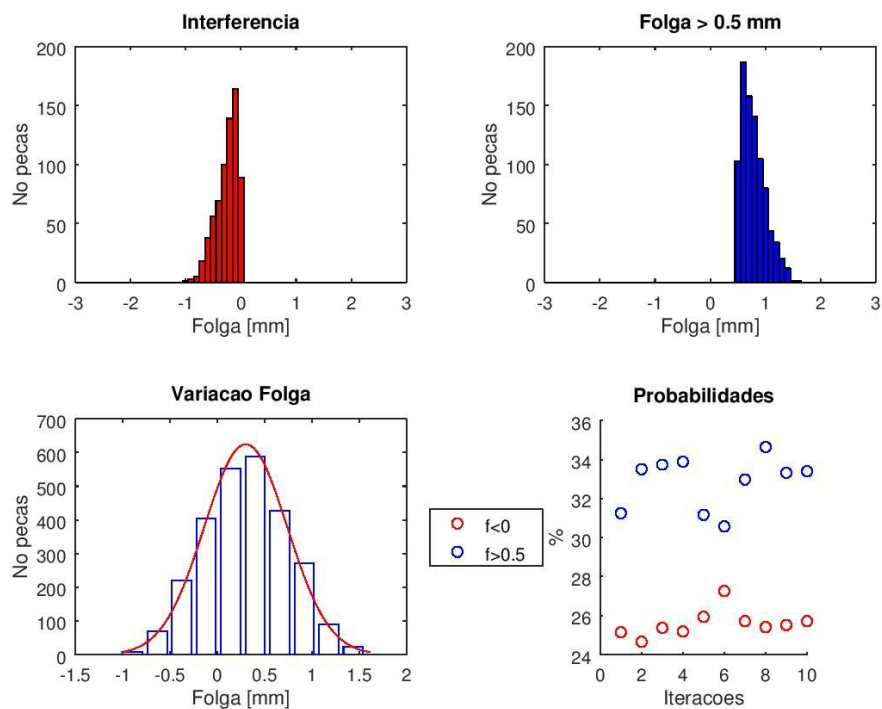


Figura 13.33 - Variação da folga e probabilidades de SPDRX

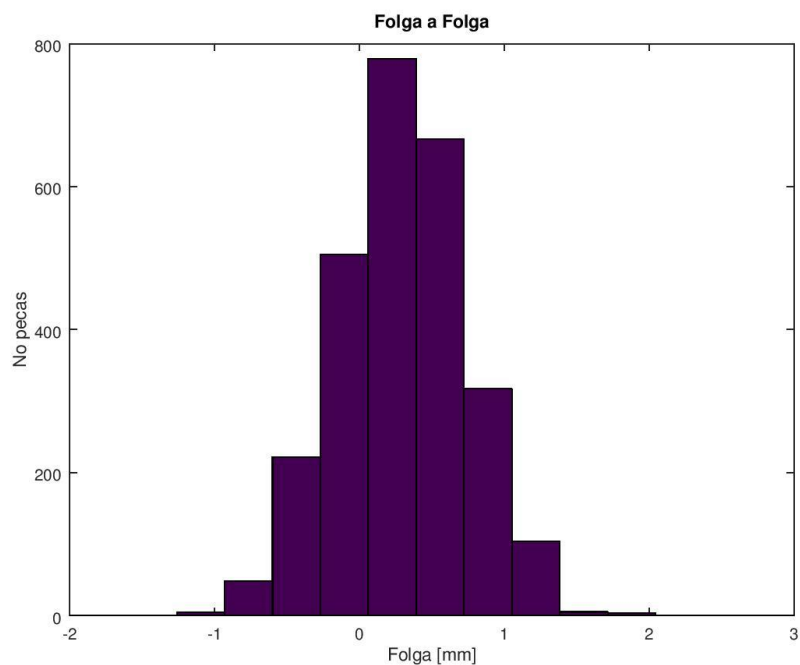


Figura 13.34 - Variação da única folga de SPDRX

○ AIRBZ

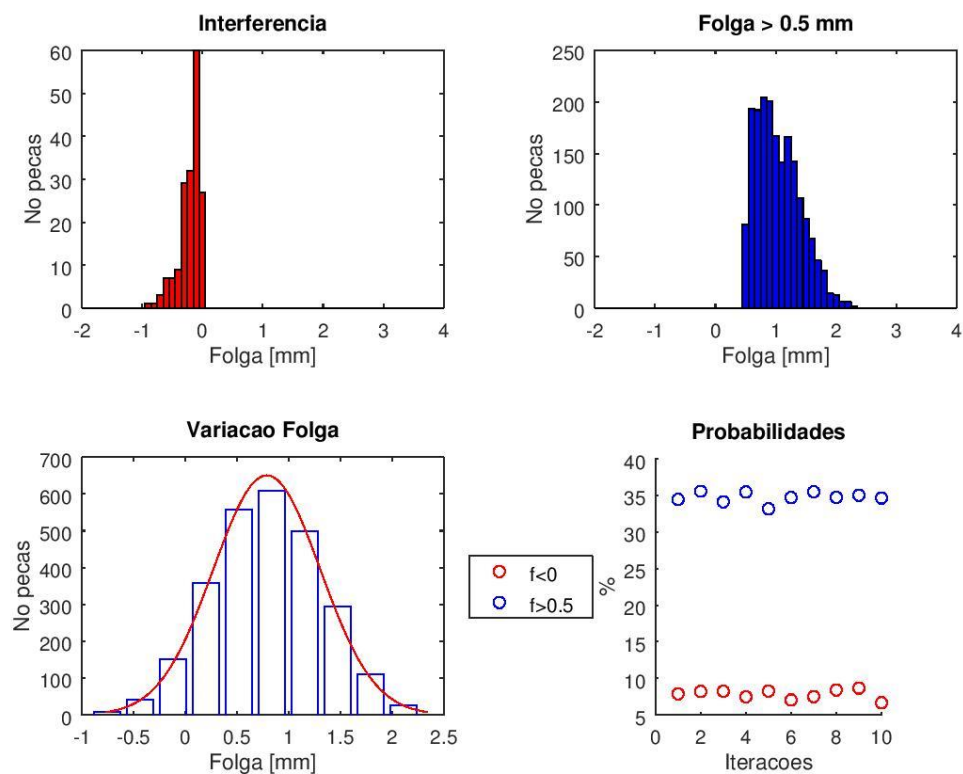


Figura 13.35 - Variação da folga e probabilidades de AIRBZ

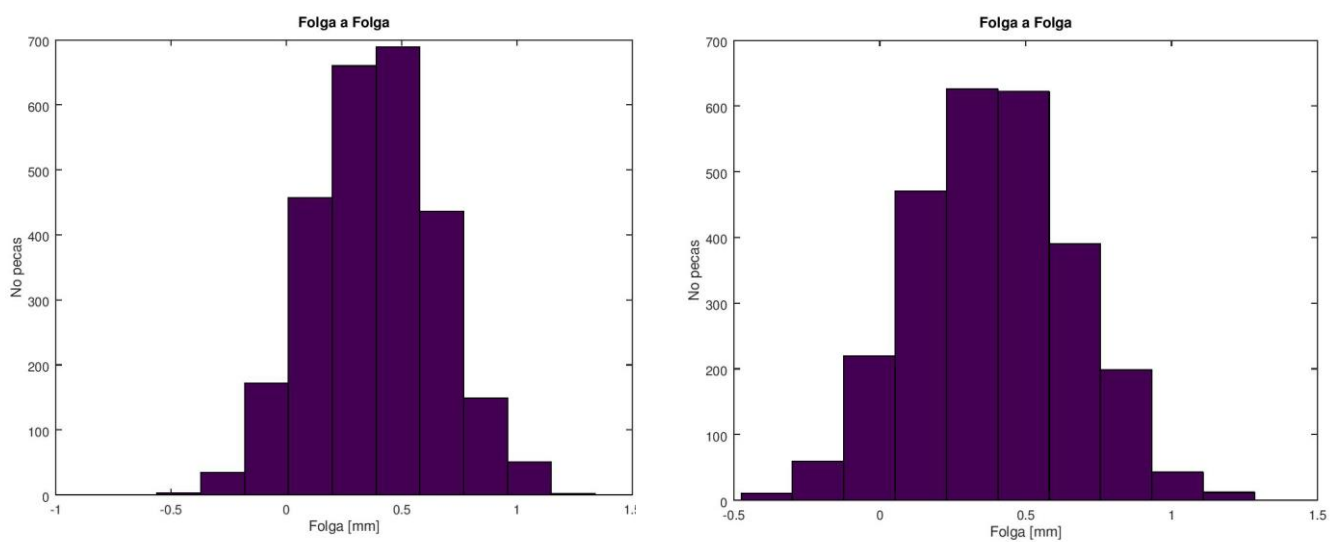


Figura 13.36 - Variação de cada folga de AIRBZ individualmente

○ AIRCZ

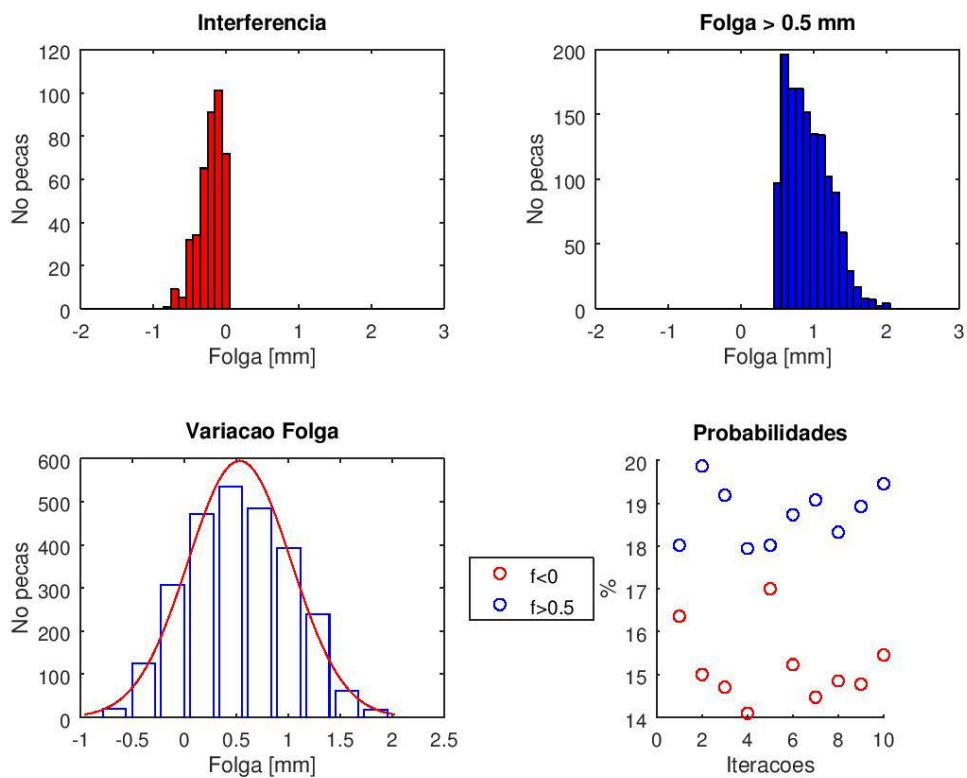


Figura 13.37 - Variação da folga e probabilidades de AIRCZ

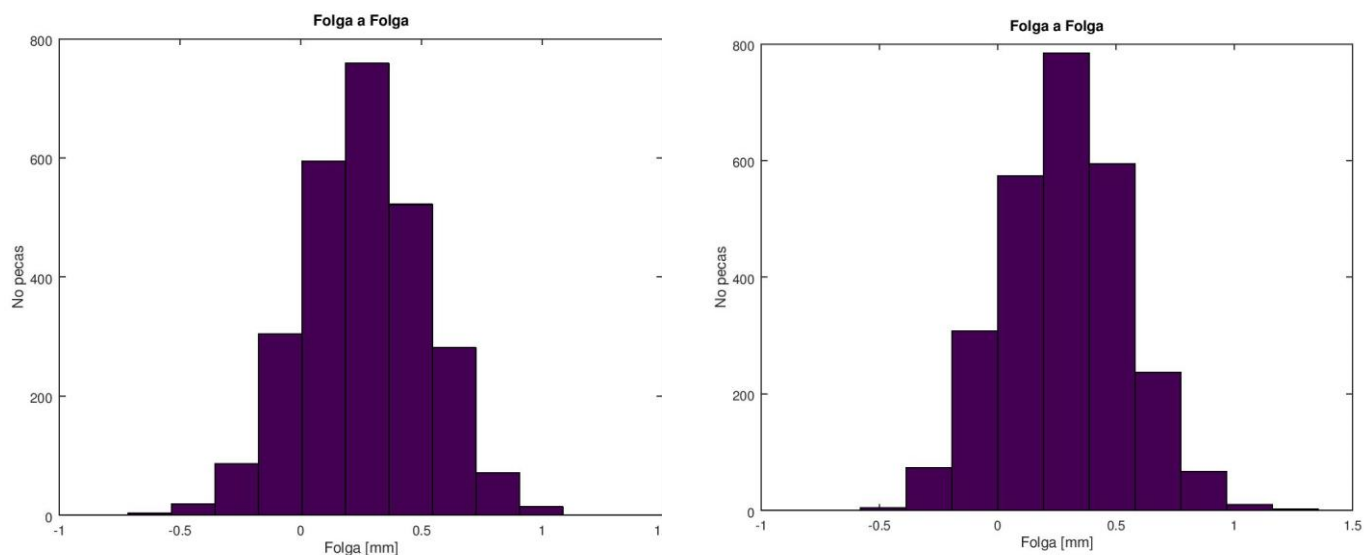


Figura 13.38 - Variação de cada folga de AIRCZ individualmente

○ AIRCX

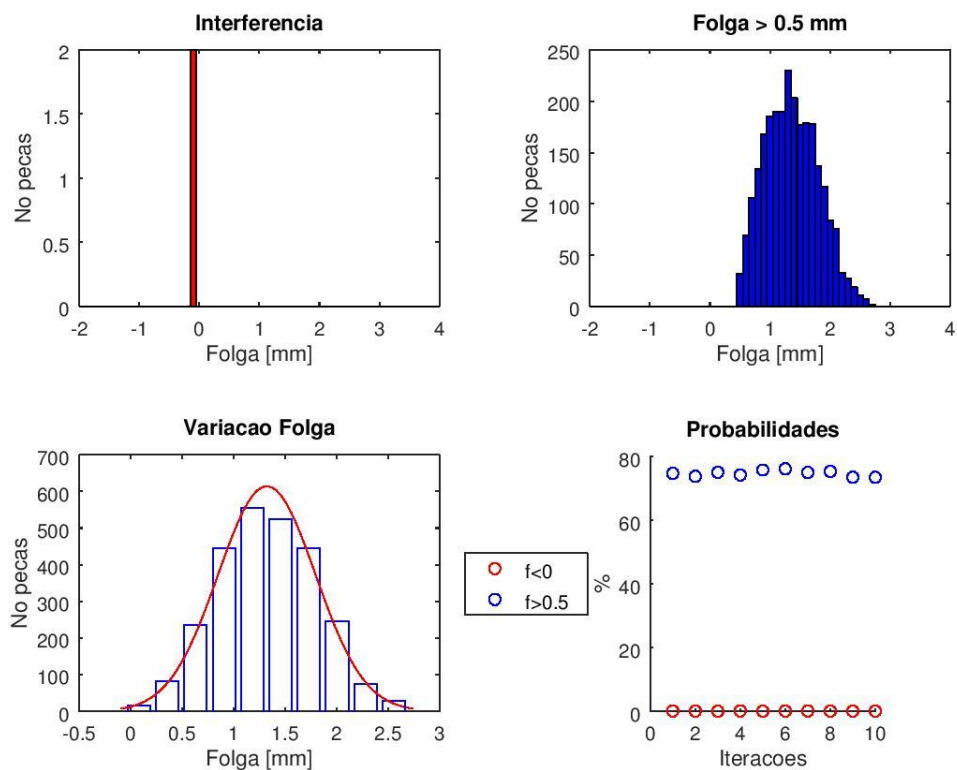


Figura 13.39 - Variação da folga e probabilidades de AIRCX

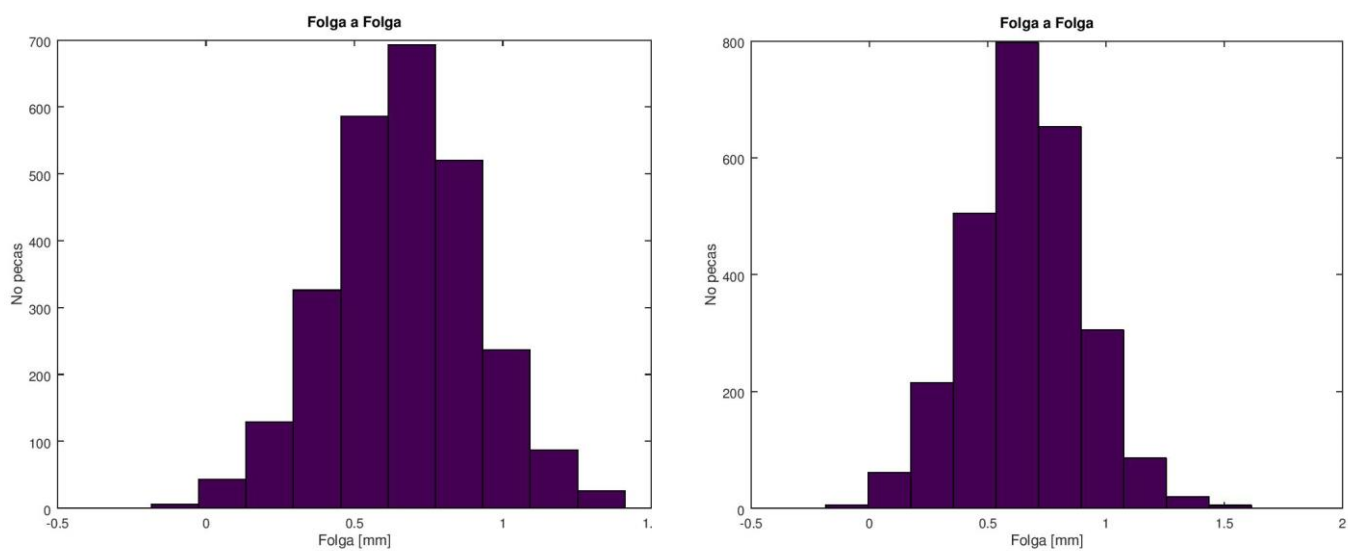


Figura 13.40 - Variação de cada folga de AIRCX individualmente

○ CENTY

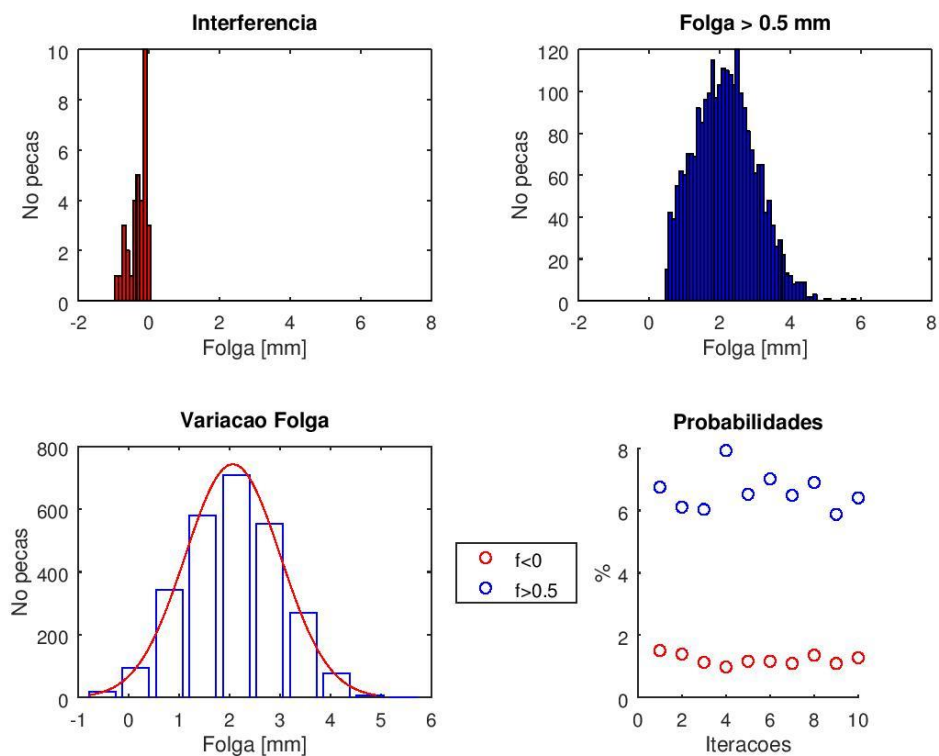


Figura 13.41 - Variação da folga e probabilidades de CENTY

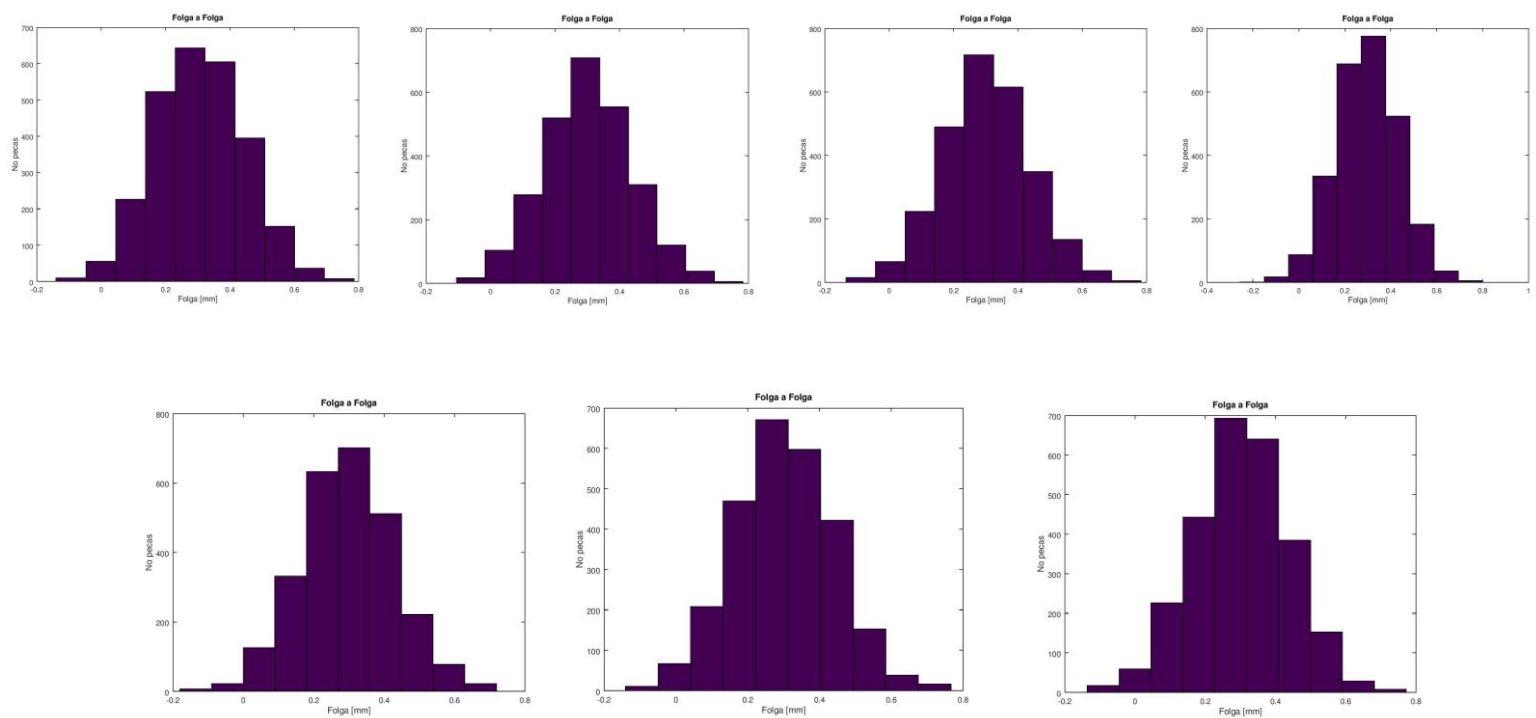


Figura 13.42 - Variação de cada folga de CENTY individualmente

○ CENTZ

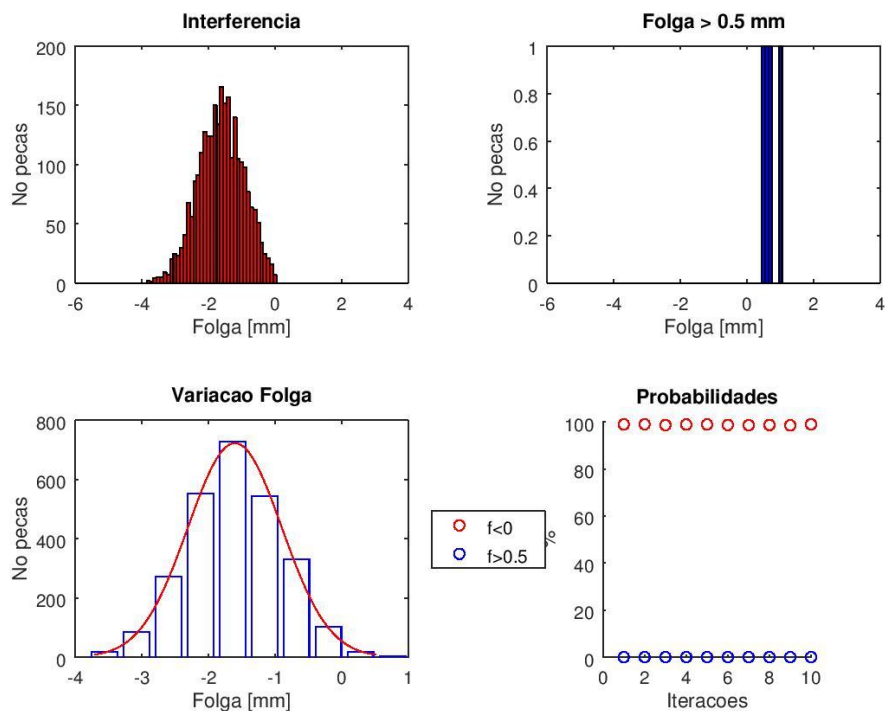


Figura 13.43 - Variação da folga e probabilidades de CENTZ

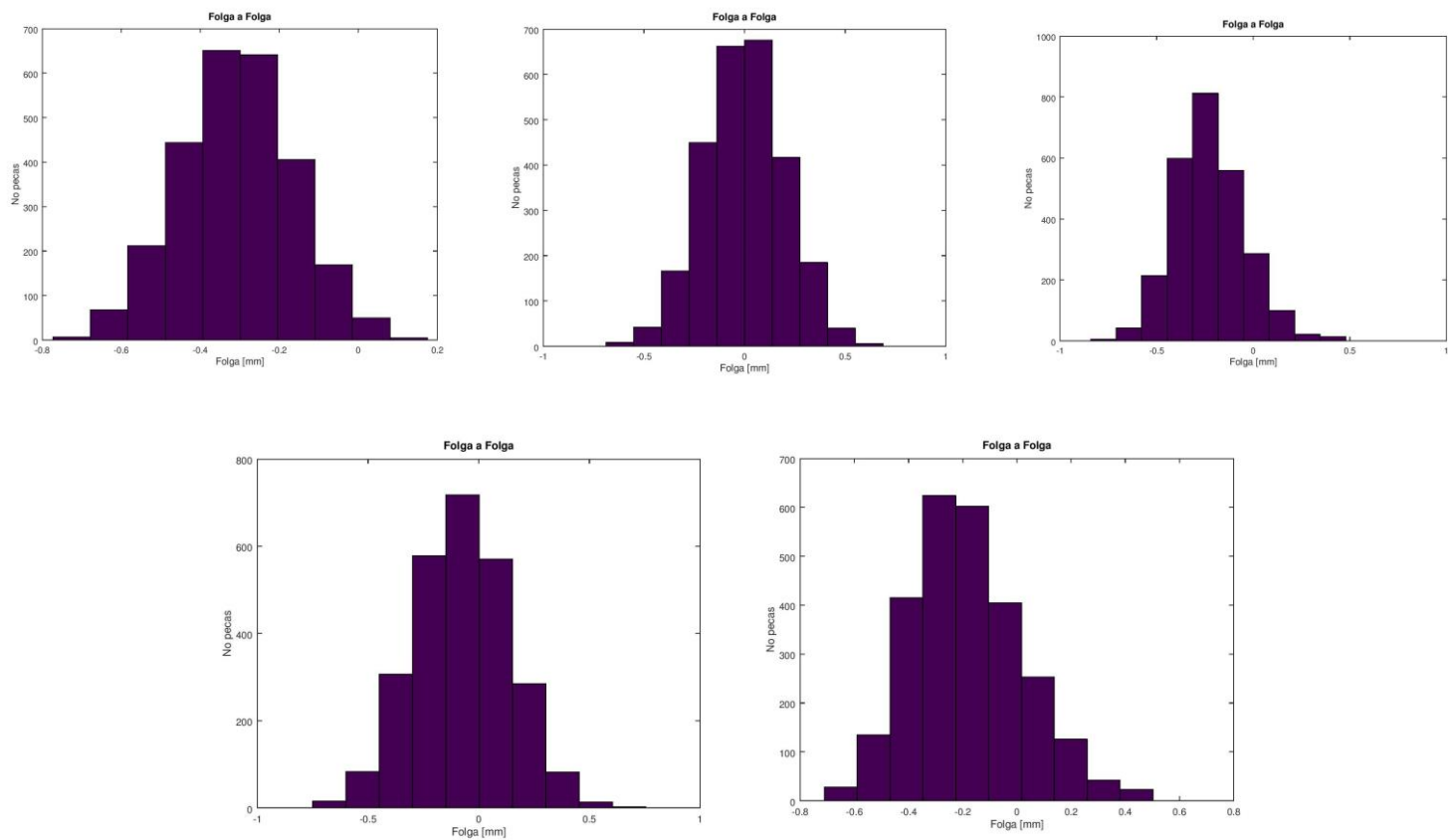


Figura 13.44 - Variação de cada folga de CENTZ individualmente

○ CENTX

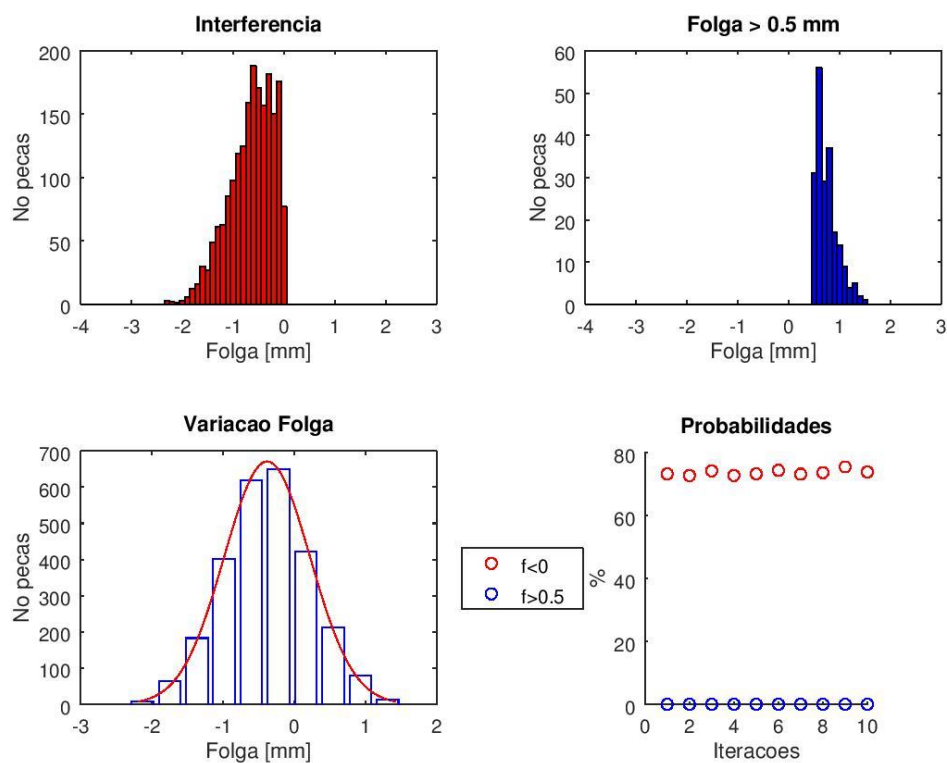


Figura 13.45 - Variação da folga e probabilidades de CENTX

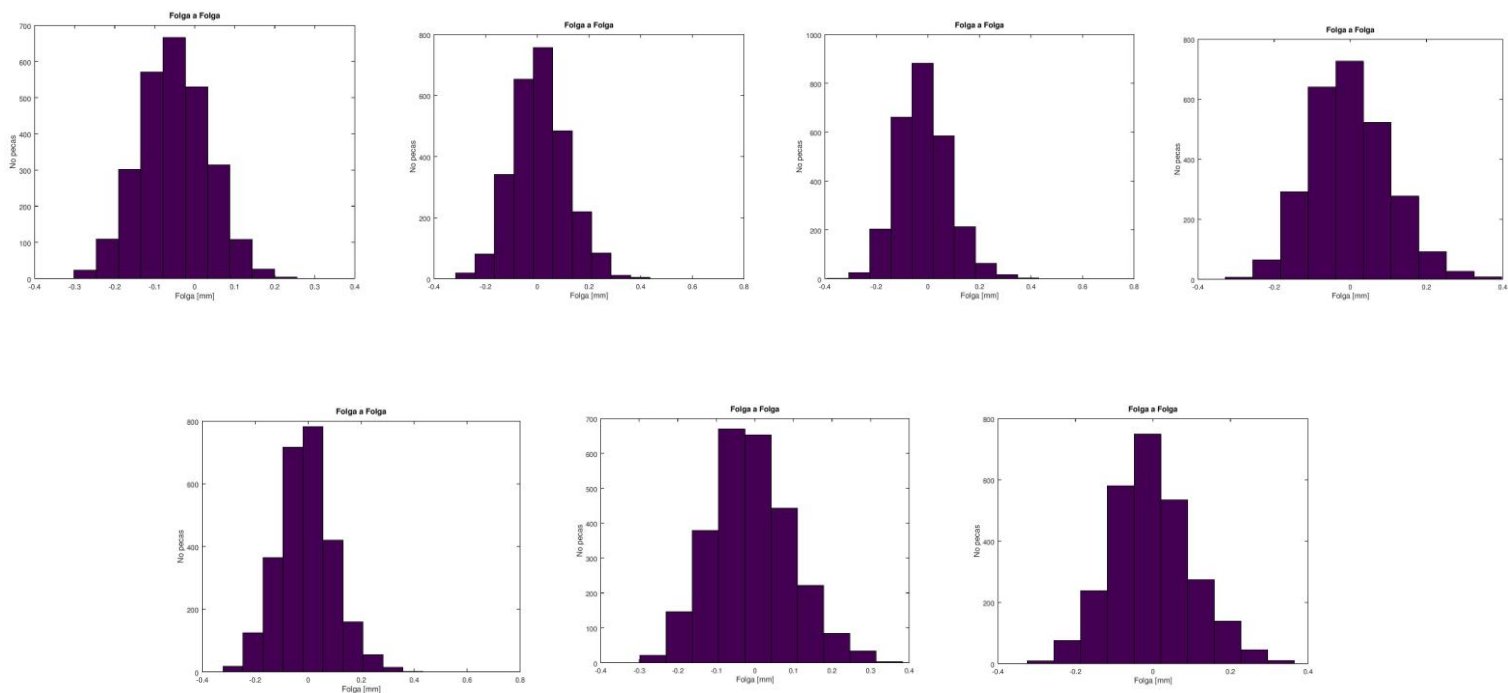


Figura 13.46 - Variação de cada folga de CENTX individualmente

○ SPESY

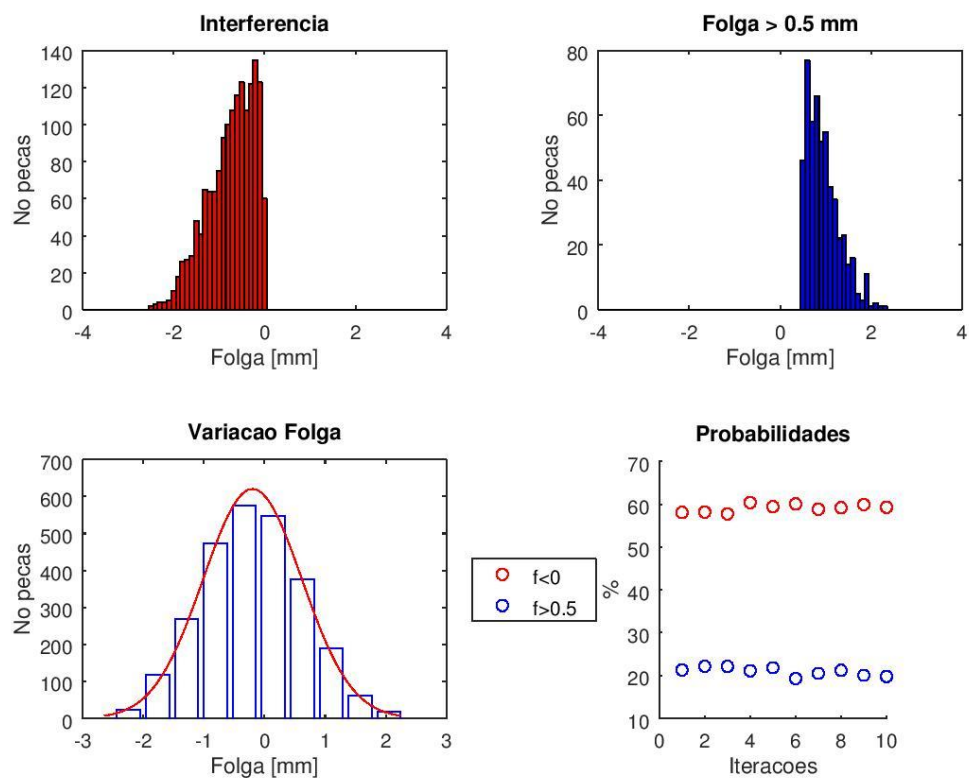


Figura 13.47 - Variação da folga e probabilidades de SPESY

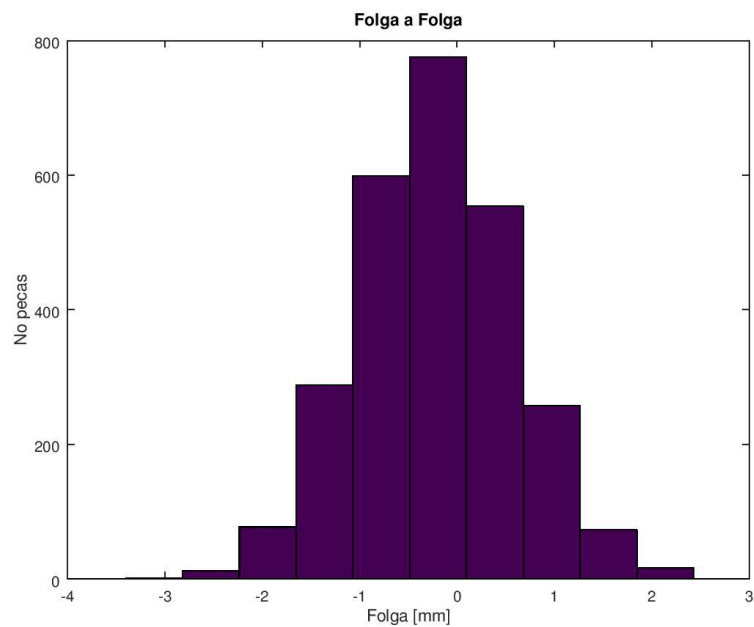


Figura 13.48 - Variação da única folga de SPESY

○ SPESZ

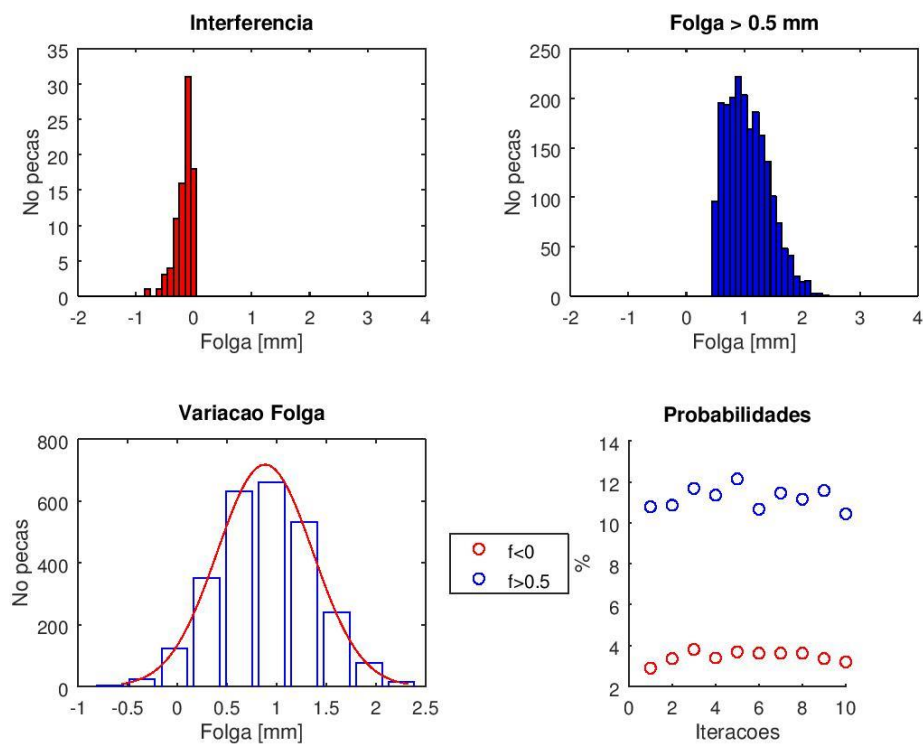


Figura 13.49 - Variação da folga e probabilidades de SPESZ

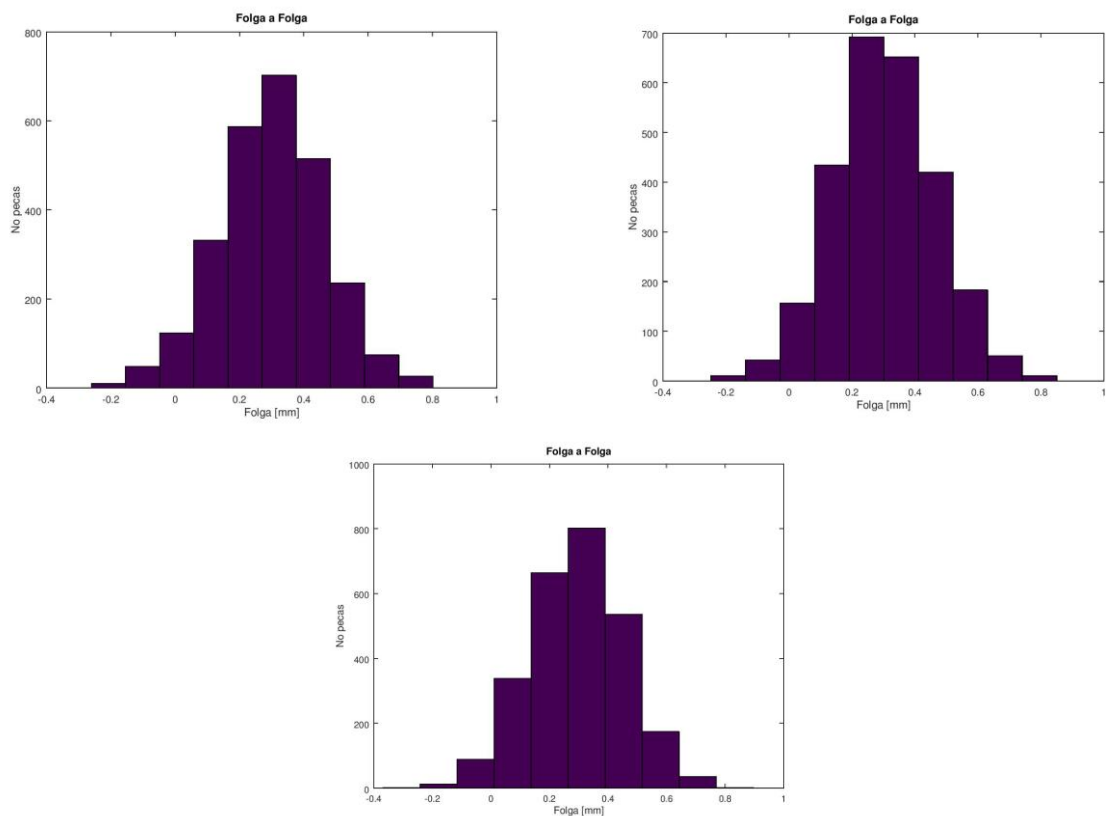


Figura 13.50 - Variação de cada folga de SPESZ individualmente

○ SPESX

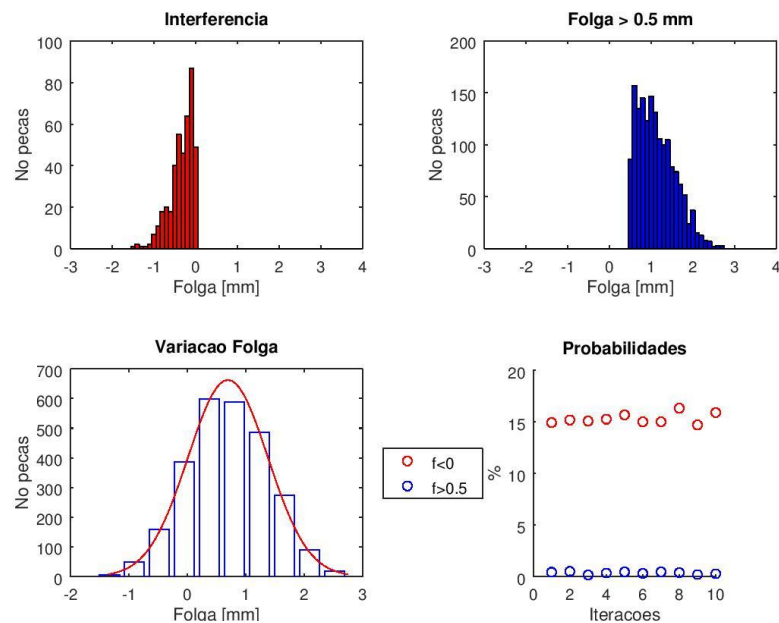


Figura 13.51 - Variação da folga e probabilidades de SPESX

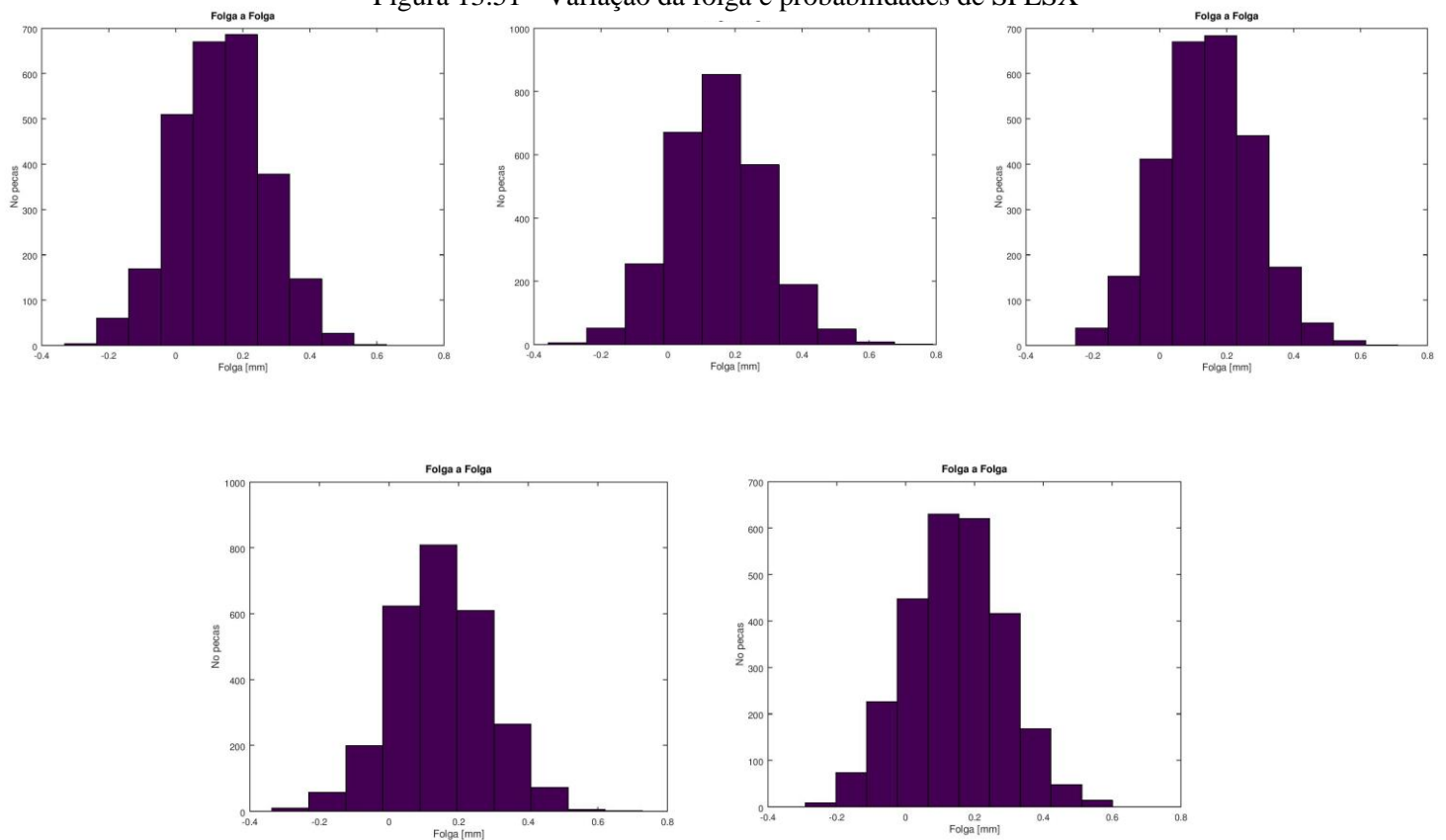


Figura 13.52 - Variação de cada folga de SPESX individualmente